

Modelos para un mundo mejor

Un análisis histórico y epistemológico de los modelos globales



Tesis que Leandro Ariel Giri presenta para obtener el grado de Doctor en Epistemología e Historia de la Ciencia en la Universidad Nacional de Tres de Febrero

Director: Dr. Ing. Héctor Gustavo Giuliano

Codirector: Dr. Ing. Fernando Nicchi

Prólogo y Agradecimientos

El presente trabajo de tesis representa la cumbre de un esfuerzo sostenido desde el año 2014 hasta la fecha para transitar el Doctorado en Epistemología e Historia de la Ciencia de la Universidad Nacional de Tres de Febrero.

Puede nombrarse como primera influencia en este proceso a mi entrañable amigo el Dr. Hernán Miguel, quien me convenció de comenzar una carrera académica, abandonando la carrera industrial (tradicional para los graduados en ingeniería, como es mi caso). Una decisión de la que no puedo sino estar feliz de haber efectuado. Buena parte de mi camino como filósofo lo emprendí en su departamento del barrio porteño de Belgrano, ese departamento “donde uno entra sobrio y se va borracho y con un *paper* escrito bajo el brazo”, como denuncié una vez en ocasión de una ponencia filosófica en La Falda.

El trabajo consta de un análisis histórico y epistemológico de un tipo peculiar de simulación, denominado “modelos globales” o “modelos mundiales”, cuya pretensión es, nada más y nada menos, la de simular el comportamiento de la economía mundial, a fin de apoyar la toma de decisión de los líderes mundiales.

La decisión de trabajar en este tema fue tomada luego de leer la edición del 2012, en español, del libro “Los límites del crecimiento” de Dennis Meadows, Donella Meadows y Jorgen Randers. El mismo presenta a *World3*, el modelo global más famoso y discutido de la historia, en una versión actualizada respecto al original de 1972. El libro resultó estimulante por lo ambicioso de su objetivo y por la cantidad de aristas epistemológicamente interesantes que presentaba. Los autores presentaban un modelo controversial, se enfrentaban a académicos y políticos e insistían en que el mundo debería operar, so pena de destruir la civilización conocida, de acuerdo a los lineamientos deducibles de dicho modelo. Pero no se trataba de un grupo de locos sin patria, sino de un equipo surgido del seno del Massachusetts Institute of Technology, la universidad de ingeniería más importante del mundo. Siendo mi carrera de origen la ingeniería (química), el interés que despertó el libro fue instantáneo.

Mi director de tesis y de mi primer beca doctoral (de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica), Gustavo Giuliano, también ingeniero, me apoyó desde el primer momento en la selección del tema.

Nos reunimos con el Dr. Giuliano, semanalmente, durante la duración completa de la beca doctoral, y varias veces luego de eso también. Cada detalle de la tesis fue discutida con él, y no tengo más que palabras de agradecimiento por su incansable tarea para transformar a un ingeniero en un filósofo más o menos decente.

También debo agradecer a mi codirector, el Dr. Nicchi, cuya gestión me permitió cursar algunos seminarios en economía que influyeron enormemente en este trabajo de tesis. Además, su lectura y discusión de una versión preliminar permitió enriquecerla en gran medida.

Ahora bien, cada capítulo de la tesis tiene una historia particular, y algunos responsables complementarios a mi persona.

El capítulo 2 plantea tres abordajes históricos distintos a la creación del primer modelo global, *World2*. El primero de esos abordajes se realiza mediante un abordaje metateórico kuhniano. La primera versión de ese abordaje fue creado en 2015 como trabajo final para el seminario doctoral Historia de la Ciencia III, a cargo de la Doctora Lucía Federico. Los primeras correcciones, pues, deben agradecérseles a ella. El trabajo me agradó tanto que decidí presentarlo en 2016 al IV Coloquio de Filosofía e Historia de la Ciencia del Uruguay, donde fui invitado por su alma-mater, el filósofo oriental Pablo Melogno. Junto a Hernán Miguel, lo enriquecimos y logramos un producto final muy superador, mientras que el auditorio lo ponderó muy positivamente: así pues, puede decirse que pasó por el filtro adicional de la comunidad filosófica oriental. Esa versión preliminar, aún muy lejana a la definitiva aquí presente, se publicó en el libro *Perspectivas sobre lenguaje científico* (2016) editado por Melogno, bajo el nombre “Un caso de cambio revolucionario en ciencias sociales: un abordaje kuhniano al management”. Ese año comenzó una historia de amistad y esfuerzo común con Melogno y su equipo que continúa hasta nuestros días. Algunos detalles de la metateoría kuhniana, según era tratada en el trabajo, fueron discutidos posteriormente con Paul Hoyningen-Huene, un honor inconmensurable. Así, la versión que puede leerse aquí tiene un importante prontuario, aunque fue ampliada radicalmente para el presente trabajo de tesis. El resto del capítulo es inédito y original.

El capítulo 3 repasa los principales modelos globales de la historia. Tiene su estructura basada en el trabajo final presentado en 2015 para el seminario doctoral

“Epistemología II” a cargo del Dr. Diego Ríos, aunque fue sustanciosamente ampliado a todo fin útil.

El capítulo 4 estudia la controversia suscitada entre el grupo de modeladores del MIT y los modeladores de la Fundación Bariloche. Fue escrito originalmente para la tesis, aunque fue adaptado posteriormente para formar parte del libro *El riesgo de que todo funcione: para una evaluación amplia de la tecnología* (2017) editado por el Dr. Fernando Tula Molina y el Dr. Gustavo Giuliano, bajo el título “Modelización, predicción y valores sociales”. Cabe agradecer a ellos y a su grupo PICT sobre filosofía de la tecnología de la Universidad Católica Argentina por las charlas enriquecedoras. También influyeron en el producto final los compañeros de la Agrupación Rolando García, quienes plantearon un evento donde tuve la oportunidad de conocer a Gilberto Gallopín y Hugo Scolnik, del grupo Bariloche. Esa charla tuvo una gran influencia en mi pensamiento respecto al modelo global de nuestras pampas. No se puede dejar de estar orgulloso de la capacidad de nuestros pensadores. En esa misma charla también recibí valioso material del Dr. Rodrigo Castro. En este capítulo es muy notoria también la influencia positiva en mi pensamiento de las ideas del Dr. Ricardo Gómez, profesor del seminario “Ciencia y Sociedad”.

Analizando la perspectiva metateórica de un grupo que afirma realizar un tipo específico y novedoso de filosofía de la computación, denominado “filosofía de las aplicaciones M&S”, no pude evitar ver la influencia de las dicotomías clásicas planteadas en la filosofía de las ciencias sociales por quienes sostenían posiciones “positivistas” y su contraparte “interpretativista”. Aproveché a explorar esta cuestión en 2015 para el trabajo final del seminario “Epistemología de las Ciencias Sociales” a cargo de la Dra. Verónica Tozzi. Los buenos auspicios de la Dra. Tozzi me estimularon a crear junto con Hernán Miguel una versión superadora que se presentó ese año en las Jornadas de Epistemología de la Falda. Posteriormente, indagué en la influencia del constructivismo en esta filosofía de la computación para el seminario “Epistemología Genética” a cargo del Dr. Antonio Castorina. Un trabajo posterior integró a estos dos, más algunos detalles adicionales, y fue publicado por la Revista de Humanidades de Valparaíso en el 2016, bajo el nombre “Refinando el marco epistemológico de las simulaciones de sistemas sociales”. Valga el agradecimiento al árbitro anónimo que confió en el producto final. El capítulo 5 de esta tesis es una versión severamente ampliada de este artículo.

El capítulo 6 plantea un análisis de las concepciones filosóficas sobre validación de simulaciones. Si bien se le agregó mucha información adicional, su estructura de base resultó de un artículo creado en coautoría con Hernán Miguel, el cual fue aceptado recientemente para su publicación en la revista española *Theoria*. Mucho del material allí presente fue adicionado por el requerimiento de los dos árbitros anónimos. Asimismo, una versión preliminar fue discutida en el IV Congreso Iberoamericano de Filosofía de la Ciencia y la Tecnología en la hermosa ciudad de Salamanca. Cabe destacar que mucho fue tomado también de las discusiones sobre modelos que se dan en el grupo UBACyT dirigido por el Dr. Alejandro Cassini, un grupo al que no puedo dejar de estar agradecido por aceptarme y enriquecerme.

El séptimo capítulo presenta una reconstrucción racional mediante el arsenal estructuralista del modelo global *World2*. La versión inicial fue presentada como trabajo final al seminario doctoral “Concepciones Semánticas” a cargo del Dr. Pablo Lorenzano. La ponderación positiva que hiciese el Dr. Lorenzano me impulsó a presentar el trabajo en el X Encuentro Iberoamericano de Metateoría Estructuralista, donde tuve el honor de contar con el Dr. Diego Méndez como revisor. La reconstrucción suscitó comentarios muy elogiosos y discusiones de lo más interesantes en el distinguido grupo de filósofos presentes en el encuentro. Cabe destacar que no hubiera sido posible sin la guía y el estímulo constante de Lucía Federico, una de las más brillantes estructuralistas (y a la postre, mi compañera de vida).

Así pues, puede afirmarse que, en forma fragmentaria y parcial, buena parte del trabajo ha sido previamente validado, lo que me da el coraje de presentarlo, amén de los buenos augurios de mis directores.

La financiación para este proyecto ha sido de una beca doctoral de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y de una beca tipo II del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, ambas instituciones dependientes del Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación. A los evaluadores que confiaron en mí, muchísimas gracias.

Finalmente, está claro que no hubiese podido finalizar el trabajo sin todos aquellos que me ayudaron: desde lo académico, brindando herramientas filosóficas a un ingeniero carente de ellas: a mis directores de tesis Gustavo Giuliano y Fernando Nicchi, y a los

directores ante CONICET, los Dres. Hernán Miguel y Miguel Fuentes, a los colegas del doctorado y a los nuevos amigos de la academia (en especial a Federico Bernabé, un aliado insuperable). Pero también desde lo logístico. Los momentos que Lucía, y que mi suegra Susana, mis padres Alicia y Antonio y mi hermano Matías cuidaron de Tomás fueron imprescindibles. Mis otros hermanos, Gerardo y Javier, también estuvieron de una forma u otra. Y los muchos amigos y familiares que tengo la suerte de tener. Todos son culpables de los aciertos de esta tesis. De los desaciertos me hago cargo yo.

Y el último que voy a nombrar es justamente al más importante, el bebé Tomás. Nacido en el 2016, pasó sus primeros días junto a este trabajo de tesis. Vayan mis disculpas a vos y a tu mamá por mi malhumor de cada vez que no me dejaste trabajar en esto. Y vayan mis agradecimientos por recordarme que hay una vida más allá –una vida que es mejor porque ustedes están acá.

Índice

Capítulo 1: Introducción a los modelos globales	pág. 12
1.1 Introducción.....	pág. 12
1.2 El problema y su relevancia	pág. 17
1.3 Guía de lectura del trabajo de tesis	pág. 18
Capítulo 2: Historia del primer modelo global	pág. 20
2.1 Introducción.....	pág. 20
2.2 Línea histórica sobre Jay Forrester y el cambio conceptual en el <i>management</i>	
.....	pág. 22
2.2.1 <i>Elección y justificación de la herramienta metateórica.....</i>	pág. 22
2.2.2 <i>Los comienzos del comienzo.....</i>	pág. 23
2.2.3 <i>El mundo del Management.....</i>	pág. 25
2.2.4 <i>La Teoría de Sistemas Dinámicos</i>	pág. 27
2.2.5 <i>Análisis de la matriz disciplinar.....</i>	pág. 33
2.2.6 <i>Sistemas dinámicos: ejemplares exitosos.....</i>	pág. 38
2.2.7 <i>Conclusiones</i>	pág. 41
2.3 Línea Histórica sobre la evolución de las simulaciones en economía ...	pág. 43
2.3.1 <i>Introducción</i>	pág. 43
2.3.2 <i>Simulaciones econométricas</i>	pág. 43
2.3.3 <i>Teoría de Juegos y Gaming</i>	pág. 45
2.3.4 <i>Microsimulaciones</i>	pág. 46
2.3.5 <i>Simulaciones económicas en Latinoamérica</i>	pág. 47
2.3.6 <i>Conclusiones</i>	pág. 50
2.4 Línea histórica sobre la emergencia de la conciencia ecológica	pág. 50
2.4.1 <i>Introducción</i>	pág. 51
2.4.2 <i>La conciencia ecológica en la economía clásica</i>	pág. 51
2.4.3 <i>La transición.....</i>	pág. 52
2.4.4 <i>El surgimiento y consolidación de la conciencia ecológica contemporánea.....</i>	
.....	pág. 54
2.4.5 <i>Conclusiones</i>	pág. 58

2.5	Cierre del capítulo	pág. 59
	Capítulo 3: Auge, Decadencia y Actualidad de los Modelos Globales	pág. 61
3.1	Introducción	pág. 61
3.2	De <i>World2</i> a <i>World3</i>	pág. 62
3.2.1	<i>Introducción</i>	pág. 62
3.2.2	<i>Las críticas</i>	pág. 63
3.3	El Modelo Bariloche	pág. 68
3.3.1	<i>Introducción</i>	pág. 68
3.3.2	<i>La icónica figura de Amílcar Herrera</i>	pág. 68
3.3.3	<i>Características técnicas y metodológicas del Modelo Bariloche</i>	pág. 69
3.4	Otros Modelos Globales Importantes	pág. 73
3.4.1	<i>World Integrated Model</i>	pág. 73
3.4.2	<i>SARUM</i>	pág. 77
3.4.3	<i>El modelo de Naciones Unidas</i>	pág. 78
3.5	El Sexto Simposio del IIASA	pág. 82
3.5.1	<i>Introducción</i>	pág. 82
3.5.2	<i>Las actas del Sexto Simposio</i>	pág. 83
3.6	Los modelos globales después de la época dorada	pág. 86
3.6.1	<i>Decadencia de los modelos globales</i>	pág. 86
3.6.2	<i>La persistencia de los modelos</i>	pág. 89
3.7	Cierre del Capítulo	pág. 91
	Capítulo 4: La dimensión valorativa de los modelos globales	pág. 92
4.1	Introducción	pág. 92
4.2	El asunto de la delimitación ciencia-tecnología	pág. 93
4.2.1	<i>¿Por qué es importante delimitar?</i>	pág. 93
4.2.2	<i>Ciencia, tecnología, técnica y tecnociencia</i>	pág. 95
4.2.3	<i>La naturaleza dual de los modelos globales</i>	pág. 104
4.2.4	<i>Los valores no-epistémicos en la ciencia y la tecnología</i>	pág. 109
4.3	Análisis valorativo de la controversia <i>World3</i> vs. Bariloche	pág. 114
4.4	Conclusiones	pág. 120
	Capítulo 5: Epistemología, ontología y teleología de los modelos globales	pág. 122

5.1	Introducción	pág. 122
5.2	La controversia clásica de la epistemología de las ciencias sociales ..	pág. 125
5.2.1	<i>Monismo vs. Dualismo metodológico</i>	pág. 126
5.2.2	<i>De los argumentos de Nagel y Hempel</i>	pág. 127
5.2.3	<i>De los argumentos de Schütz.....</i>	pág. 129
5.3	La traslación de la polémica a sistemas de la información	pág. 131
5.4	De las IS a las M&S: un problema persistente	pág. 142
5.4.1	<i>La llegada de la controversia a las aplicaciones M&S</i>	pág. 142
5.4.2	<i>Las mil caras del constructivismo</i>	pág. 144
5.5	El marco epistemológico adecuado	pág. 147
5.5.1	<i>¿Qué marco usan los modeladores globales?</i>	pág. 147
5.5.2	<i>Una epistemología por parcelas</i>	pág. 148
5.6	Conclusiones.....	pág. 152
Capítulo 6: Validación de simulaciones		pág. 154
6.1	Introducción.....	pág. 154
6.2	Primeros pasos	pág. 155
6.2.1	<i>Radiografía de la posición de Paul Weirich.....</i>	pág. 155
6.2.2	<i>El problema del recorte del mundo: relevancia e idealizaciones</i>	pág. 159
6.2.3	<i>Modelado de fenómenos caóticos.....</i>	pág. 163
6.3	La validación del modelo	pág. 166
6.3.1	<i>El problema de la representación.....</i>	pág. 166
6.3.2	<i>La teoría de la correspondencia.....</i>	pág. 167
6.3.3	<i>Identidad parcial de estructura como base para la validación de simulaciones...</i>	pág. 173
6.3.4	<i>Más allá de la identidad de relaciones.....</i>	pág. 178
6.4	Conclusiones.....	pág. 182
Capítulo 7: Reconstrucción estructuralista del modelo global World2.....		pág. 184
7.1	Introducción.....	pág. 184
7.2	Consideraciones preliminares	pág. 184
7.2.1	<i>Antecedentes.....</i>	pág. 184
7.2.2	<i>Sobre World2</i>	pág. 185

7.2.3	<i>Los objetivos de la reconstrucción</i>	pág. 188
7.3	Reconstrucción estructuralista de World2	pág. 189
7.3.1	<i>Nociones básicas del estructuralismo metateórico</i>	pág. 189
7.3.2	<i>Modelos potenciales de World2</i>	pág. 190
7.3.3	<i>Modelos efectivos o actuales de World2</i>	pág. 215
7.3.4	<i>Modelos potenciales parciales de World2</i>	pág. 218
7.3.5	<i>Las aplicaciones propuestas y el elemento teórico básico de World2</i>	pág. 219
7.3.6	<i>La red teórica de World2</i>	pág. 219
7.4	Reflexiones finales sobre la reconstrucción	pág. 233
7.4.1	<i>Primer objetivo: reflexiones sobre la validación por correspondencia</i>	pág. 233
7.4.2	<i>Segundo objetivo: reflexiones sobre el “pago epistémico” de las simulaciones</i>	pág. 235
7.4.3	<i>Tercer objetivo: reflexiones sobre la comparabilidad de modelos de simulación</i> ..	pág. 238
7.5	Conclusiones	pág. 240
Capítulo 8: Conclusiones		pág. 241
8.1	Introducción	pág. 241
8.2	Conclusiones	pág. 241
8.2.1	<i>¿Qué aspectos socio-históricos resultaron relevantes para la creación, auge, decadencia y actualidad de los modelos globales?</i>	pág. 241
8.2.2	<i>¿Cómo impactaron los valores ideológicos de los grupos modeladores en la estructura matemático-computacional de los modelos?</i>	pág. 243
8.2.3	<i>¿Qué aspectos de la validación de simulaciones informáticas deberían tenerse en cuenta para aumentar la confianza epistémica en las mismas?</i>	pág. 243
8.3	¿Qué hacer con los modelos globales?	pág. 245
8.4	Proyectos futuros y cierre	pág. 247
Bibliografía		pág. 250

A Antonio y Alicia, y a Lucía y Tomás.

Capítulo 1: Introducción a los modelos globales

1.1 Introducción

Día a día se observa desde las noticias una plétora de medidas que se toman desde el Gobierno, a nivel nacional, provincial y municipal. Periodistas y analistas de distintos colores llenan el espacio televisivo, radial y gráfico con sus interpretaciones contrapuestas, mientras los espectadores intentan asimilar la infinidad de información de la mejor manera posible, cuestión harto difícil si se tiene en cuenta la falsedad y manipulación que se da sobre gran parte de ella. Por otra parte, los mismos medios difunden distintas mediciones sobre el estado de las cosas, de lo cual, nuevamente, periodistas y analistas de distintos colores interpretan diferentes cosas, a tal punto que por momentos parecen habitar mundos diferentes.

De todas maneras, al menos en Argentina, se vive en una democracia. Cada cierto tiempo el grueso de la ciudadanía se acerca a las urnas y deposita su voto por la facción política que cree que representa de mejor manera su visión de las cosas, con fe en que las acciones que proponen para mejorar el futuro serán ejecutadas y tendrán efectos beneficiosos, o, al menos, que serán menos dañinas que si una facción distinta detentara el poder.

Al mismo tiempo, hay consenso respecto a la enorme complejidad que el poder político de turno debe enfrentar. Factores internos, externos, sociales, políticos, económicos, culturales y otros, se yuxtaponen y exigen una planificación eficaz y eficiente que permita pronosticar más o menos bien eventos y calcular más o menos bien los efectos potenciales de tal o cual acción. Y por otro lado, dichas acciones han de hacerse correctamente, consumiendo el mínimo de recursos escasos.

La dificultad fundamental de esa tarea radica en el fenomenal grado de interacción entre las distintas variables que deben tenerse en cuenta, ya que la modificación de una incide necesariamente en muchas otras, desatando cada acción una infinidad de efectos emergentes difíciles de prever.

Pero todo esto no es novedoso de estos tiempos, ni únicamente propio de estas pampas. La planificación política ha sido una acción enormemente dificultosa en todo el mundo y desde el principio de los tiempos, aunque el fenómeno de la globalización ha empeorado la cuestión: los planificadores contemporáneos deben necesariamente considerar en sus cálculos eventos que ocurren en sitios del mundo completamente alejados.

Teniendo en cuenta las dificultades de este asunto, no resulta sorprendente que se hayan creado herramientas informáticas que asistan a los planificadores políticos en su titánica tarea. Una

en particular es especialmente interesante. La misma fue diseñada para ayudar a los planificadores a lidiar con la incertidumbre de los efectos de tal o cual evento, de tal o cual decisión política. Así, los usuarios poseen representaciones de la estructura económico-social del mundo, y pueden poner a prueba distintas acciones en la computadora y analizar sus efectos en la misma, antes de realizar la acción efectivamente en el mundo. Los programas informáticos a los que se hace referencia son denominados “modelos globales”.

El presente trabajo de tesis aporta un análisis de los modelos globales desde la óptica de la epistemología y la historia de la ciencia y la tecnología. Estos son simulaciones computacionales que dan cuenta de la economía del mundo entero. Para comprender lo que esto significa, resulta necesario comprender antes los conceptos de “modelo” y “simulación”, para luego profundizar en este tipo particular de simulaciones computacionales. Se plantearán las nociones utilizadas por el sector de la comunidad científica que trabajó sobre este tópico particular.

El primer modelo global de la historia fue diseñado por el ingeniero estadounidense Jay Wright Forrester en el año 1971. Forrester propuso como noción de modelo “un sustituto para un equipo o sistema real” cuya utilidad

(...) deriva de su mejoramiento de nuestro entendimiento de las características oscuras del comportamiento de sistemas reales más efectivamente que el que hubiera resultado de su observación. Un modelo, comparado con el sistema real que representa, puede entregar información a un costo menor. El conocimiento puede ser obtenido más rápidamente y para condiciones no observables en la vida real (2013, p. 49).

Groping in the Dark (Meadows *et al.*, 1982) puede considerarse el texto más importante sobre modelos globales, puesto que fue compuesto a partir del consenso de los principales grupos que se dedicaron a la producción de estos modelos en su década de apogeo, los años 70. En el capítulo 3 se analizarán algunas cuestiones sobre el evento que le dio origen. Allí se sostiene que

Un modelo es cualquier imagen simplificada, generalizada, de la realidad. Los mapas, los camiones de juguete, las planillas de balance corporativas, enunciados como “unidos prevaleceremos, divididos caeremos”, y ecuaciones como $E=m \cdot c^2$ son todos modelos. Este párrafo es un modelo verbal de lo que los modelos son.

Un buen modelo no es sólo cualquier simplificación vieja, sino una que destila de un mundo complicado y confuso la esencia que le permite a uno alcanzar un propósito particular. Un buen modelo de un avión, con el propósito de probar sus características de vuelo en un túnel de viento, duplica la forma de un avión real y su distribución de peso, pero puede ser de cualquier color. Un buen modelo para un escape en la ventana de una compañía aérea puede tener cualquier distribución de peso, puede exagerar la elegancia de la

forma, pero *debe* estar pintado con los colores apropiados. En pocas palabras, *un modelo puede ser realizado y juzgado solo respecto a un propósito claro*. El mejor modelo es aquel que contiene solo lo que se necesita para ese propósito, y no más. Es *elegante*, lo que significa, de acuerdo al diccionario, “ingeniosamente simple” (p. 7, énfasis del autor).

Existen modelos de muchos tipos. Forrester (2013) los clasificó en modelos físicos (como las réplicas a escala) y modelos abstractos (compuestos por símbolos, como sucede en los modelos matemáticos, los modelos computacionales y los modelos mentales). Sobre estos últimos, en Meadows *et al.* (1982) se afirmó que

Un presupuesto básico de los modeladores matemáticos (y de la mayoría de los filósofos y psicólogos) es que la mente humana opera enteramente creando modelos. Las decisiones humanas virtualmente nunca están basadas en percepciones precisas de todas las propiedades relevantes del mundo. Dependen de percepciones sesgadas e incompletas de la parte limitada del mundo que el individuo ha experimentado o ha absorbido desde los modelos mentales de otra gente sobre lo que ellos han experimentado. Como la gente que se sorprende en descubrir que ha estado hablando en prosa toda su vida, la mayoría de la gente solo es consciente en parte de que han estado modelando toda su vida. En cada acción que tomas –ya sea decidiendo si utilizar un sobretodo hoy, qué carrera seguir, cómo tasar a un producto, si tener un bebé, postularse a un puesto político o pelear una guerra– utilizas imágenes abstractas acerca de cómo es el mundo y de cómo será. Para bien o para mal, los seres humanos piensan con modelos y no pueden pensar sin ellos. (p.7)

Ahora bien, estas imágenes abstractas, parciales y sesgadas son las que se utilizan para tomar decisiones generalmente, y eso acarrea el peligro de que las mismas no sean las mejores posibles. Si el decisor es un político de alto nivel, el peligro aumenta, dado que sus decisiones serán críticas para la modificación de un mundo en el que muchas personas dependen de estas decisiones para vivir sus vidas en plenitud. Queda claro entonces que estos decisores deberían basar sus razonamientos en herramientas más rigurosas que sus modelos mentales. Los modelos computacionales, es decir, modelos expresados en un lenguaje formal interpretable por una computadora para su ejecución (a los cuales este trabajo de tesis referirá en forma genérica como “simulaciones”, aunque estrictamente solo se les llama así a los modelos computacionales dinámicos) apuntan a cumplir este rol.

¿Por qué hacer modelos computacionales?

La respuesta más simple es, porque hay algunos problemas que los modelos mentales no pueden manejar, como:

- aquellos que requieren una respuesta muy precisa (diseñar una planta nuclear, calcular la trayectoria de un cohete);
- aquellos que lidian con sistemas acoplados de varios componentes (coordinar rutas de buques petroleros, predecir la *performance* de una economía nacional);
- aquellos que se benefician de combinar el conocimiento de varios modelos mentales o puntos de vista (diseñar una política energética a largo plazo, evaluar el impacto medioambiental de una gran represa);
- aquellos que involucran decisiones donde los errores serían inaceptablemente costosos o irreversibles (simular alunizajes, calcular una pesca sustentable de ballenas, proyectar si el dióxido de carbono en la atmósfera cambiará el clima mundial). (*id.*, p. 9)

Y más adelante:

Al menos teóricamente, los modelos computacionales pueden superar a los modelos mentales de varias maneras:

- Rigor. Los presupuestos en los modelos computacionales deben ser expresados en forma completa y precisa; las ambigüedades no son posibles. Cada término debe ser definido, y los presupuestos deben ser mutuamente consistentes. Los modeladores computacionales a menudo mencionan que la disciplina requerida para reformular los modelos mentales en términos matemáticos es útil al organizar y clarificar sus pensamientos incluso antes de que el análisis computacional tome lugar. Los modelos mentales están usualmente tensionadas por inconsistencias.
- Accesibilidad. Debido a que todos los presupuestos deben ser escritos de manera de comunicárselos a la computadora, los críticos pueden examinar, evaluar y alterar los modelos computacionales. Los modelos mentales no son examinables ni criticables; sus presupuestos ni siquiera están del todo claros para el modelador.
- Comprensibilidad. Un modelo computacional puede contener mucha más información que un modelo mental y puede realizar el seguimiento de muchas interrelaciones a la vez.
- Lógica. Si es programada correctamente, la computadora puede procesar incluso un muy complicado conjunto de presupuestos para llegar a conclusiones libres de error. La mente humana es muy susceptible a cometer errores lógicos, especialmente si la cadena lógica es compleja. Personas distintas pueden estar de acuerdo completamente acerca de un conjunto de presupuestos y todavía pelearse acerca de las conclusiones a derivar de ellas, si solo tienen modelos mentales con los que contar.
- Flexibilidad. Los modelos computacionales pueden probar una amplia variedad de condiciones y políticas, proveyendo una forma de experimentación social que es mucho menos costosa y consumidora de tiempo que los *tests* en el mundo real. Diferentes presupuestos pueden ser probados más fácil y abiertamente que como podrían haberlo sido en un modelo mental. (*id.*, pp. 11-12).

Quedando claras las ventajas de los modelos formales en general y de los computacionales en particular, puede abordarse el concepto de modelo global. Para Meadows *et al.* (1982)

Los modelos globales son solo modelos computacionales realizados para investigar preguntas sociales o problemas de escala global. Por ejemplo, los modelos globales han atendido a preguntas como las siguientes:

- El crecimiento exponencial de la población y del *stock* de capital, ¿es sostenible para los recursos básicos y ecosistemas del mundo? ¿Qué sucedería si dichos recursos fuesen consumidos?
- ¿De qué manera las políticas nacionales y los mercados internacionales para comerciar alimentos permiten que exista el hambre en el mundo? ¿Qué clase de políticas podrían reducir el hambre?
- ¿Es posible satisfacer las necesidades básicas de toda la población mundial en las próximas décadas? ¿Cómo?

El modelado global se distingue de otros tipos de modelado de sistemas sociales solo por las preguntas que se hace. Sus métodos, fortalezas y debilidades son idénticas a aquellos modelos computacionales orientados a políticas. Abrevan de la misma base de teorías, datos y técnicas. Entonces, si hay alguna característica distintiva de los modelos globales, se siguen directamente de las características de los problemas globales. Los modelos globales a veces (no siempre) son más complejos, ambiciosos y quizás mayores en horizonte temporal que los modelos nacionales o regionales. Los grupos de modelado global han sido hasta ahora más diversos en métodos, trasfondo ideológico, base disciplinaria y membresía de equipos que la mayoría de los grupos modeladores de países o regiones. Los modelos globales han estado más presentes en el ojo público, y han suscitado más interés y controversias que la mayoría de los otros modelos computacionales. La razón para ello es materia de especulación; una hipótesis es que los problemas y conclusiones de escala global son naturalmente más proclives a suscitar reacciones globales. Nadie puede sentirse desahogado por los pronunciamientos provenientes de un modelo global. (pp. 12-13).

Por otra parte Rodrigo Castro¹ considera que los “modelos globales” son aquellos que expresan en forma simultánea dinámicas y estructuras de varios aspectos de una sociedad (como economía, agricultura, energía, clima, demografía, contaminación, educación, calidad de vida, etc.), sin importar el alcance geográfico. Entonces, aquellos que poseen como alcance la escala geográfica mundial sería un subconjunto de los modelos globales, llamado “modelos mundiales”. En este trabajo de tesis se considerará como modelos globales únicamente a aquellos que tienen por alcance al mundo entero, aunque por razones históricas se mencionarán casos interesantes de simulaciones con alcances menores.

¹ En su presentación “Modelos de Simulación y Sustentabilidad Global” en la Sexta Edición del Congreso de Filosofía de la Ciencia coordinado por Mario Bunge, 22/09/2015, Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires.

1.2 El problema y su relevancia

Como se mencionó en la sección anterior, los modelos globales son simulaciones de la economía (en sentido amplio) del mundo que fueron desarrollados y tuvieron su época dorada en la década de 1970, y hacia la década siguiente cayeron en desuso.

Actualmente pueden verse varios intentos por retomarlos como una herramienta fundamental para una planificación política racional y científicamente fundamentada. Uno de los problemas que llevó al abandono de los modelos fue la falta de confianza epistémica en una herramienta prospectiva de planificación a largo plazo. La filosofía de la computación comenzó a tratar la problemática de la validación de simulaciones en profundidad después de la década de 1990, por lo que resulta importante abordar con las nuevas herramientas conceptuales esta cuestión para aportar en las discusiones de aquellos que propugnan el retorno al uso de esta clase particular de modelos.

Adicionalmente se espera que como resultado del presente trabajo de tesis se observe cómo las herramientas de la filosofía e historia de la ciencia pueden aportar a las discusiones sobre cómo pueden apoyar la ciencia y la tecnología a la toma de decisiones en los dominios políticos de alto nivel en forma racional y viable. En este sentido, vale la pena insistir en la necesidad de que científicos, tecnólogos y planificadores políticos en general posean una formación epistemológica básica o se incluya en los equipos de trabajo a personas con una formación en dicha especialidad.

En definitiva, todo esto lleva a la necesidad de realizar un análisis histórico-contextual utilizando las herramientas de la historia de la ciencia y la tecnología y de un análisis epistemológico profundo que elucide los elementos necesarios para la confección, validación y uso de los modelos globales, y aporte a su vez a arrojar luz al proceso de validación de simulaciones informáticas en general, a fin de escapar del paradigma tradicional correspondentista que, como se verá, encuentra límites metodológicos ante sistemas complejos como los estudiados en este trabajo.

La cantidad de problemáticas derivadas de la toma errónea de decisiones políticas, ya sea por desidia o por la consideración lineal de variables complejas hace necesario que se considere el uso de herramientas que permitan lidiar con la plétora de cuestiones relevantes a tener en cuenta, con toda la potencia que la ciencia y la tecnología moderna pueden aportar a tal fin. Pero para ello, resulta menester que pueda fundamentarse la bondad de las herramientas propuestas: no basta con que una computadora realice una afirmación para que deba tenérsela necesariamente como verdadera, o tan siquiera como posible. Debe realizarse un fuerte trabajo epistemológico para

plantear las condiciones necesarias para que considere a tal o cual modelo como un modelo válido o se lo descarte por inútil. Este trabajo de tesis realiza pasos concretos en esa dirección.

Finalmente se espera que durante el transcurso del trabajo, puedan contestarse las siguientes preguntas:

- ¿Qué aspectos socio-históricos resultaron relevantes para la creación, auge, decadencia y actualidad de los modelos globales?
- ¿Cómo impactaron los valores ideológicos de los grupos modeladores en la estructura matemático-computacional de los modelos?
- ¿Qué aspectos de la validación de simulaciones informáticas deberían tenerse en cuenta para aumentar la confianza epistémica en las mismas?

1.3 Estructura del trabajo de tesis

El presente trabajo de tesis tiene una estructura bipartita. El primer eje, compuesto por los capítulos 2 y 3, es de naturaleza primordialmente histórica, mientras el segundo eje, compuesto por los capítulos 4, 5, 6 y 7, son esencialmente filosóficos. Claro está que la epistemología está muy presente en el primer eje, así como múltiples condimentos históricos complementan a los estudios filosóficos del segundo eje.

El Capítulo 2 plantea a los modelos globales como una etapa avanzada en la evolución del conocimiento científico en el *management* ocurrido por la introducción de nociones ingenieriles, sumada a un contexto signado por la evolución de la tecnología informática. Para ello se sigue la biografía de Jay Wright Forrester, creador del primer modelo global de la historia, *World2*. También se plantea que determinados desastres ambientales contribuyeron a formar una consciencia ecológica que brindó un marco ideológico propicio para la creación de los modelos, y dicha consciencia es rastreable a través de sus manifestaciones culturales, especialmente en literatura y cine.

El capítulo 3 revisa la historia y objetivos de los principales modelos globales de la década dorada (los años 70s). El énfasis se realiza sobre el grupo Meadows (creador del modelo global más famoso y discutido de la historia, *World3*) y sobre el grupo Bariloche (creador del Modelo Mundial Latinoamericano, uno de los más importantes y relevantes, y surgido en Argentina).

Estos dos grupos protagonizaron una de las más acaloradas e interesantes controversias de la

historia del modelado global. Esta controversia será analizada en el capítulo 4. Para ello se realiza una elucidación ontológica de los modelos globales desde la filosofía de la tecnología, que habilita a un análisis de su dimensión valorativa. Este análisis permite comprender las posiciones de ambos grupos modeladores en esta discusión tan relevante para el objeto de estudio del presente trabajo de tesis.

El capítulo 5 analiza un campo relativamente nuevo de la filosofía de la ciencia, denominado “filosofía de las aplicaciones M&S” (ver Tolk, 2013). El mismo tiene por objetivo el abordaje de la praxis del modelado de simulaciones computacionales desde una óptica novedosa, orientada a la práctica y por ende al interés de los profesionales que se dedican a ella. Esto los diferencia respecto a la filosofía tradicional de la computación, cuyos exponentes principales pertenecen, generalmente, al mundo de la epistemología “pura”. Este campo novel exhibe una serie de posiciones dicotómicas sobre el modelado y su metafísica asociada, que son criticadas por su sobresimplificación. A su vez, se realiza un análisis de corte histórico para rastrear el origen de la mencionada dicotomía, lo que echa luz sobre su influencia sobre los grupos de modeladores de sistemas sociales.

El capítulo 6 versa sobre el problema general de la validación de simulaciones informáticas. La tesis que se sostiene es que la validación por correspondencia de eventos (método hegemónico en la comunidad de modeladores) resulta insuficiente para obtener la confianza epistémica necesaria para el retorno de los modelos globales a la agenda política global, y se propone un método alternativo que podría otorgar una confianza epistémica superadora que daría un impulso al uso de simulaciones en general y a los modelos globales en particular.

El capítulo 7 presenta una reconstrucción racional del modelo global *World2* mediante las herramientas provistas por el estructuralismo metateórico. *World2* se toma como ejemplar representativo de los modelos globales, por haber sido el primero de ellos, y el inspirador de los demás. Se muestra aquí cómo una reconstrucción racional de un modelo de simulación interpretado como una teoría científica permite explicitar sus presupuestos y con ello interiorizarse en su estructura y complementar su validación con una metodología que aporte una comprensión profunda de la misma.

Finalmente, el capítulo 8 presenta las conclusiones del trabajo de tesis.

Capítulo 2: Historia del primer modelo global

2.1: Introducción

La historia de los modelos globales es casi tan compleja como aquellos sistemas de los que éstos desean dar cuenta. En este capítulo se comenzará con la historia del primer modelo global publicado, el *World2* de Jay Forrester. Existe una plétora de posibilidades para realizar la reconstrucción histórica, cada una con diversas ventajas y desventajas, con distintas potencialidades para enfatizar o disminuir la importancia de hechos e interpretaciones varias.

Ante esta diversidad de posibilidades, parecería la opción más sabia no elegir sólo una sino varias, a fin de abonar la idea de que el proceso que llevó a la consolidación y posterior caída en desgracia de los modelos globales fue de una naturaleza rizomática, un origen múltiple, reticular, entrecruzado y complejo. La sucesión de hechos históricos relevantes reseñados y ordenados cronológicamente no bastaría ante un panorama semejante. El famoso axioma de Ranke queriendo dar cuenta de “*wie es eigentlich gewesen*” (lo que realmente sucedió) llevaría a un escenario donde un conjunto de eventos en el espacio-tiempo pulula solitario en espera del demiurgo analítico que les otorgue un sentido. Se intentará tomar el rol de dicha entidad metafísica, esperando conseguir una interpretación integral y sólida de lo que las fuentes historiográficas parecen mostrar.

Entonces, se compondrá una historia en episodios, intentando que suceda que, como se da en las buenas novelas, el lector se vea provisto de las pistas que permitirán hacia el final entender el hecho puntual (sea el asesinato de la víctima o el surgimiento del primer modelo global) como el resultado de una compleja red de eventos internos y externos de la ciencia y la tecnología.

La historia del primer modelo global se realizará desde tres “líneas históricas” con un enfoque completamente distinto entre sí, a fin de abrir algunas de lo que Bruno Latour (1992) denomina “cajas negras” de los enunciados científicos y tecnológicos, es decir, fragmentos de los enunciados que es necesario descomponer y analizar a fin de hallar el origen y fundamentos de dicho enunciado. A continuación se describirán las características que definen a cada una de las líneas históricas a considerar.

La primera línea histórica tendrá en cuenta que el primer modelo global fue creado como un ejemplar exitoso de las ciencias de la administración (o *management*). Luego, es posible comprender su fundamento teórico y su historia analizando mediante una reconstrucción racional diacrónica la evolución de los conceptos que llevó a Forrester a crear su modelo, *World2*. Para ello, se adoptará (y justificará) una perspectiva metateórica que acompañe y permita arrojar claridad al análisis diacrónico. Es evidente la potencial dificultad metodológica que podría arrojar la adopción de una u otra herramienta filosófica de análisis. Pero al mismo tiempo son destacables las palabras de Ulises Moulines: “Un abordaje puramente narrativo de la historia de la ciencia sin compromiso metateórico es una visión tan empobrecida de ella como la idea de una ciencia de la naturaleza “puramente empírica” sin influencia de una teoría” (1983, p.286). Sin embargo lo más común es que los historiadores de la ciencia no revelen sus compromisos metateóricos, y por ello el lector los tenga que deducir de la lectura de los trabajos. Se evitará esta tediosa situación siendo explícitos al respecto. De todas maneras, la reconstrucción será acompañada de los detalles históricos biográficos y contextuales que permitirán entender que ningún elemento teórico es huérfano de su tiempo.

La segunda línea histórica será muy diferente a la primera, pues el modelo *World2* dejará de ser considerado un producto teórico del *management* para ser colocado dentro de una genealogía de simulaciones computacionales de la economía. La idea de simular sistemas económicos data de las primeras décadas del Siglo XX y ha evolucionado junto a la tecnología informática (tanto del *hardware* como del *software*), y pueden verse múltiples aspectos relevantes de los modelos globales atendiendo al decurso conjunto que han tenido la tecnología y las simulaciones económicas ideadas desde múltiples perspectivas de la teoría económica.

La tercera y última línea histórica de este capítulo considerará al primer modelo global un producto de una cosmovisión o *weltanschauung* que podría caracterizarse como “ecologista”. Este “espíritu de época” es más amplio que un paradigma científico, ya que excede al círculo de científicos y tecnólogos. Se trata de una cuestión cultural, una forma de ver el mundo compartida por las sociedades a nivel mundial (en menor o mayor medida), que si bien se nutre de los hallazgos científicos, también lo hace de manifestaciones artísticas como la literatura y el cine. Explorar esta línea arrojará información sobre estas influencias y las que provienen de la comunidad científica en el moldeado de la cosmovisión ecologista

que contribuye al origen y a su vez es influenciada significativamente por el primer modelo global (aunque mucho más significativamente, como se verá, por su continuación, *World3*).

Se espera entonces reconstruir una historia mediante herramientas analíticas que trasciendan las dicotomías típicas de la historiografía (internalismo-externalismo, whig-antiwhig, etc.) puesto que las mismas dejan todo un espectro de tópicos importantes afuera, y así poder otorgar la base contextual sobre la cual se procederá a trabajar en próximos capítulos sobre las problemáticas propias de las simulaciones informáticas en general y de los modelos globales en particular.

2.2 Línea histórica sobre Jay Forrester y el cambio conceptual en el *management*

2.2.1 Elección y justificación de la herramienta metateórica

Parece haber varias maneras de elegir un marco metateórico para realizar un estudio historiográfico. *A priori* podrían darse dos situaciones. La primera es que se posea afinidad completa e irrenunciable sobre una determinada visión epistemológica. Si un autor se declarase a sí mismo como popperiano o estructuralista metateórico, su proceso efectivo de selección sería bien simple, suponiendo que pueda justificar por qué una u otra escuela analítica es a su parecer “la mejor”. La otra situación es que no se posea preferencia alguna, probablemente porque se ha notado que todas poseen alguna ventaja y alguna desventaja, y la elección se decidirá entonces después de responder la pregunta básica: “¿qué es lo que se quiere mostrar con este estudio historiográfico?”. Aquí se apelará a ésta última alternativa.

Pues bien, la historia que se quiere mostrar en el desarrollo de esta línea histórica no busca enfatizar procesos de observación, hipotetización o puesta a prueba como lo hacen algunos marcos. Lo que se quiere mostrar en este caso son los procesos acaecidos dentro de la comunidad científica, los valores epistémicos y no-epistémicos, el contexto sociohistórico, la influencia de la tecnología, los cambios ocurridos dentro de las disciplinas científicas que demuestran el avance y la adquisición de nuevo conocimiento, etc. En tal sentido, las metateorías historicistas parecen ser más fértiles en la integración de esa clase de elementos en un relato de la evolución conceptual de una disciplina científica: tanto el marco de Thomas Kuhn como el de Imre Lakatos y el de Larry Laudan podrían proveer categorías útiles al propósito en cuestión.

El problema del programa lakatosiano (sobre “programas de investigación científica”, o “PICs”) es su insistencia en la preeminencia de la historia interna o normativa por sobre la externa (o socio-psicológica), la cual actuaría como algo secundario, complementario a la reconstrucción racional (ver Lakatos, 1987). Así, cuestiones que son consideradas en esta tesis como fundamentales, como la dimensión valorativa y política de los elementos analizados, se diluirían y serían ignorados. Por ello, esta metateoría será dejada de lado. En cuanto a Laudan, si bien la unidad epistemológica de su propuesta (la “tradición de investigación”, ver Laudan (1977)) contempla estos elementos, se considera que su grado de desarrollo es inferior al de las otras, teniendo pocos ejemplares historiográficos desarrollados bajo el marco en cuestión.

Pues bien, ante este panorama, se ha seleccionado el marco metateórico desarrollado por el físico, historiador y filósofo de la ciencia Thomas Kuhn para el tratamiento de la evolución conceptual de la ciencia del *management* que, se propone, ha dado origen al primer modelo global de la historia, *World2*. Se aprovecharán entonces algunas de las nociones desarrolladas en su obra fundamental, *La Estructura de las Revoluciones Científicas* (2004) (especialmente en las aclaraciones propuestas en su Posdata del '69 en respuesta a sus críticos). Sin embargo, el foco se realizará principalmente en las conceptualizaciones más rigurosas desarrolladas en sus obras tardías donde el autor aportó categorías adecuadas para ilustrar los hechos de la historia de la ciencia que se quiere analizar. Se procederá entonces a reconstruir los elementos biográficos de la vida del autor de *World2*, Jay Forrester, y luego se compilará aquello que permitirá la reconstrucción racional del episodio histórico en clave kuhniana.

2.2.2 *Los comienzos del comienzo*

Jay Wright Forrester inició su vida en 1918 en una granja en Nebraska, en el seno de una familia culta. Involucrarse en la actividad de sus padres lo llevó a pensar que una granja es “una convergencia de fuerzas económicas. Oferta y demanda, precios fluctuantes y costos, y las presiones económicas de la agricultura se vuelven una parte personal, poderosa y dominante de la vida”. (Forrester, 1989, p.2). Otro aspecto resaltado respecto a su infancia por el autor fue la priorización de la dimensión práctica por sobre la meramente teórica para poder llevar adelante un negocio complejo como el agrario.

En su adolescencia, Forrester dio muestras de aspectos de gran genio, diseñando por ejemplo, durante su estadía en la escuela secundaria, una pequeña planta eólica que funcionaba entregando electricidad para su granja. Su pasión por la tecnología lo llevó a rechazar una beca de estudios en agricultura, para dirigirse a la Universidad de Nebraska con el fin de seguir Ingeniería Eléctrica, según él el único campo académico con un núcleo central sólido de dinámica teórica.

Luego de la Universidad, en 1939, Forrester se dirigió al Massachusetts Institute of Technology (MIT) para trabajar por un nada despreciable salario de U\$S 100 como asistente de investigación de Gordon Brown, pionero en el área de Sistemas de Control por Retroalimentación, base de la Teoría de Sistemas Dinámicos que perfeccionaría Forrester años después. Cabe destacar que según el propio Forrester, hubo dos motivos por los que se embarcó en el MIT: el primero fue que su madre conocía a la Universidad pues había sido bibliotecaria en un pueblo cercano, y el segundo fue que era la institución que mejor pagaba las ayudantías.

En aquel momento, Gordon Brown estaba trabajando en aplicaciones bélicas, aplicando su teoría esencialmente matemática de control por retroalimentación al diseño de soportes de radares y controles automáticos hidráulicos de artillería antiaérea: apareció nuevamente el aspecto práctico en esta historia. La unidad experimental de soporte de radar diseñada por maestro y aprendiz fue montada en el portaaviones USS Lexington y operada exitosamente en la Segunda Guerra en el frente japonés. Sin embargo, luego de 9 meses de servicio dejó de funcionar y el propio Forrester se dirigió a Pearl Harbour a repararlo, hallándose en el barco mientras éste era violentamente torpedeado por la marina japonesa. (Forrester, 1992)

Al final de la Guerra, Forrester se encontró en la bifurcación entre encontrar un trabajo o fundar una empresa de ingeniería en automatización y control, pero Brown lo convenció de permanecer en la universidad y trabajar en un proyecto. Dado una lista de ellos, Forrester decidió embarcarse en el diseño y fabricación de un simulador de vuelo. Durante el desarrollo de éste, notó que el computador analógico de uso estándar en la época se hallaba limitado en su capacidad de procesamiento para poder simular correctamente el complejo entorno real de un vuelo.

Las computadoras de tipo analógico, como las utilizadas en los analizadores de redes del sistema de potencia eléctrica y en los analizadores de ecuaciones diferenciales, han sido desarrollados desde 1930

a 1950. (...). Sin embargo, estas computadoras demostraron ser inadecuadas para lidiar con problemas de interés práctico. No pueden lidiar efectivamente con sistemas no-lineales. (Forrester, 2013, pp.18-19)

Por esta razón, Forrester se avocó a la investigación en el área de computadoras digitales, donde conoció al gran pionero en esta área (y varias otras): el ingeniero y matemático húngaro John Von Neumann. En 1951 fundó el departamento de Computadoras Digitales en el MIT, donde dirigió el proyecto de desarrollo de la computadora Whirlwind (ver fig. 2.1), la cual fue por años la única capaz de correr simulaciones de sistemas complejos a alta velocidad (Lane & Sterman, 2011), y fue la base del Sistema de Defensa Aérea de Estados Unidos (SAGE: *Semi Automatic Ground Environment*), el cual operó hasta el año 1983. El SAGE adquirió fama por la robustez de la computadora Whirlwind: a pesar de consistir de 80.000 válvulas de vacío, las computadoras estuvieron operativas el 99,8% del tiempo en los 25 años de uso. Una de las razones de su rápido y confiable funcionamiento fue la incorporación de una invención de Forrester: la memoria RAM (*Random Access Memory*), pieza central de la arquitectura de las computadoras aún en la actualidad.



Fig. 2.1: Imagen parcial de la computadora Whirlwind

(<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/8863-Project-Whirlwind-CRMI.JPG>)

2.2.3 El mundo del Management

Pero Forrester dejaría el diseño de computadoras para embarcarse en otro desafío: en 1956 tomó un puesto de investigación en la Sloan School of Management del MIT.

La escuela de *Management* del MIT (ver fig. 2.2) fue creada con las donaciones del presidente de la General Motors, Alfred Sloan, cuyo fin era estimular la creación de un pensamiento nuevo en administración a través de una visión distinta, ingenieril, puesto que las escuelas más importantes de negocios de la época (Harvard, Columbia y Chicago) se habían desarrollado en ambientes de predominio de artes y humanidades. Su deseo fue crear una escuela de negocios que promoviera una integración profunda entre la ciencia, la ingeniería y la industria, y que en vez de sólo enseñar las “buenas prácticas”, definiera al estudiante como un gerente dinámico, capaz de adaptarse a las complejidades cambiantes del mundo de los negocios industriales (ver Kochan & Schmalensee, 2003). Sloan estaba convencido de que un instituto en el ambiente ingenieril del MIT lograría por fin crear al “gerente ideal”, a través de un cambio en la concepción de las prácticas y del tipo de enfoque en el *management*.



Fig. 2.2: la Sloan School of Management

(<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/ba/MITSloanE62.jpg>)

Ese año Forrester fue convocado para realizar un trabajo de consultoría en la General Electric: graves inconvenientes aquejaban a los directivos, y la ciencia del *management* de aquel momento no brindaba herramientas adecuadas para enfrentarlos. La fluctuación irregular de la demanda causaba que por momentos las plantas generadoras de Kentucky tuvieran que contratar personal para cubrir múltiples turnos, mientras que al año siguiente se debía reducir drásticamente al personal, con las consiguientes pérdidas económicas y trastornos organizativos.

Forrester (1995) relata que para resolver el inconveniente mencionado, primero se informó respecto a los procesos de contratación de la General Electric. Luego, con papel y lápiz procedió a representar los sectores “inventario”, “empleados” y “órdenes” y con ello y las políticas de la empresa, además de algunos cálculos sencillos, pudo predecir cuántos empleados se contratarían la semana próxima. Allí notó que el sistema representado era inherentemente inestable: aún a demanda de electricidad constante las fluctuaciones en la contratación, resultado de las decisiones políticas habituales, podían provocar problemas. Esta “simulación” en papel fue el inicio de aquello profetizado por Sloan.

2.2.4 La Teoría de Sistemas Dinámicos

Múltiples elementos se yuxtapusieron en aquellos años en la flamante escuela de negocios del MIT.

En primer lugar, hubo una disciplina del *management* clásica que, en los '50s, actuó más bien como un “arte” que como una ciencia, y necesitaba renovarse con urgencia. Para comprender el punto de vista de Jay Forrester a este respecto, se citará *in extenso*:

Todo empeño humano que valga la pena emerge primero como un arte. Tenemos éxito antes de que comprendamos por qué. La práctica de la medicina o de la ingeniería comenzó como un arte empírico representando solo el ejercicio del juicio basado en la experiencia. El desarrollo de las ciencias subyacentes fue motivado por la necesidad de entender mejor el fundamento en el cual el arte descansa. (...).

(...) El arte se desarrolla a través de la experiencia empírica pero en el tiempo cesa de crecer debido al estado desorganizado de su conocimiento. Cuando la necesidad y las fundaciones necesarias coinciden, una ciencia se desarrolla para explicar, organizar y destilar la experiencia en una forma más

compacta y utilizable. Mientras la ciencia crece, provee un nuevo fundamento para la expansión futura del arte.

Por siglos, el *management* como un arte ha progresado por la adquisición y almacenamiento de la experiencia humana. Pero mientras no haya una base científica ordenada subyacente, las experiencias permanecen como casos especiales. Las lecciones son pobremente transferibles ya sea en el tiempo o en el espacio. (2013, p.1-2)

Que la literatura de la disciplina no poseyera más que casuística desorganizada tenía consecuencias severas:

El *manager* corporativo hoy encuentra poca ayuda en las experiencias almacenadas en la literatura desde hace una generación atrás. Las descripciones son incompletas y carecen de precisión. Proviene de circunstancias que no pueden ser apropiadamente relacionadas a los eventos actuales.

Del mismo modo, las experiencias del *management* contemporáneo no son tan útiles como podrían serlo para otros *managers*. Todavía encontramos que cada compañía y cada industria creen que sus problemas son únicos. (...) Debido a la carencia de un punto de vista fundamental adecuado, fallamos en ver cómo todas las experiencias industriales lidian con los mismos factores materiales, financieros y humanos – todos representan variaciones en el mismo sistema subyacente. (...)

(...) Sin una ciencia subyacente, el avance de un arte alcanza una meseta. El *management* ha alcanzado tal meseta. Si el progreso va a continuar, una ciencia aplicada debe construirse como fundamento para soportar el desarrollo posterior del arte. Tal base de ciencia aplicada permitiría que las experiencias sean transmitidas a un marco de referencia común desde el cual serían transferidos desde el pasado al presente o desde una locación a otra, para ser efectivamente aplicados a nuevas situaciones por otros *managers*. (*id.*, pp. 2-3).

Si bien Forrester reconocería luego el importante antecedente en la búsqueda de la base científica del *management* en la disciplina conocida como “investigación operativa” (la cual a su vez tiene por base el control estadístico de calidad de principios del Siglo XX), enfatizó que ésta aún no estaba suficientemente madura en el momento que comenzó a ser el centro de las actividades de investigación del autor.

En segundo lugar, apareció una tecnología novedosa, la computadora digital, cuyas infinitas aplicaciones aún no habían sido sospechadas, pero que esperaba en el laboratorio del instituto dispuesta a trabajar bajo las órdenes de uno de sus creadores, el propio Forrester. Es decir, una tecnología que cambiaría drásticamente las prácticas del *management* permitiendo encarar nuevas preguntas, desafíos y problemas: “Sin ella, la vasta cantidad de trabajo para obtener soluciones específicas de las características de los sistemas complejos sería prohibitivamente costosa” (*id.*, p. 18)

En tercer lugar, existió un elemento contextual muy fuerte en esta historia. Distintas cuestiones coyunturales llevaron a Forrester a trabajar junto a Gordon Brown en la teoría de control por retroalimentación, y el éxito de esa empresa (académico, pero sobre todo, en sus aplicaciones militares) lo llevaron a dirigir como *manager* (pero también como ingeniero de desarrollo) un proyecto de gran envergadura: la computadora digital *Whirlwind*, la cual también terminó desempeñando un rol militar crucial como base de la arquitectura del SAGE. Esta experiencia como *manager* resultaría fundamental para lo que sucedería después.

Kuhn propuso como unidad de análisis epistemológico lo que dio en llamar en *La estructura* un “paradigma” y posteriormente, en su Posdata de 1969, una “matriz disciplinar”. Esta unidad es más amplia que el mero conjunto de enunciados denominados “teoría” que solía representar la unidad de análisis de la epistemología clásica. El concepto de matriz disciplinar (o disciplinaria) es explicado en varios textos del autor, aunque el grado de detalle es mayor en Kuhn (1982):

¿Qué elementos compartidos explican el carácter de comunicación profesional, relativamente carente de problemas, y la unanimidad también relativa del juicio profesional? A esta pregunta *La estructura de las revoluciones científicas* contesta: “un paradigma” o “un conjunto de paradigmas”. (...) se produciría menos confusión denotándolo con la frase “Matriz disciplinaria” – “disciplinaria” porque es la posesión común de los profesionales de una disciplina y “matriz” porque se compone de elementos ordenados de distintas maneras, cada una de las cuales hay que especificar. Los componentes de la matriz disciplinaria incluyen la mayoría, o todos los objetos, del compromiso de grupo descrito en el libro como paradigmas, partes de paradigmas o paradigmático. (...) Permítaseme llamarlos generalizaciones simbólicas, modelos y ejemplares. (p. 321).

Puede decirse entonces que la yuxtaposición de los componentes históricos recabados de la biografía de Forrester llevó a la creación de una nueva matriz disciplinar del *management*: la Teoría de Sistemas Dinámicos (se le llamará “teoría” pues es el nombre que recibe en la literatura científica, ya habiendo dejado claro que al referirse a ella en este trabajo, no se está considerando únicamente el conjunto de enunciados que la componen sino también los elementos de compromiso de comunidad). Ésta pronto probaría su fecundidad a través de su aplicación exitosa a diferentes tipos de casos.

Como se puede apreciar de esta reseña de los episodios históricos relevantes, Forrester desarrolló gradualmente una mirada particular para enfocar problemas, partiendo de sus experiencias educativas primarias y llegando a la culminación de su aprendizaje ingenieril que incluyó una praxis concreta en aplicaciones tecnológicas varias. Es evidente que no

puede reconocerse un instante preciso donde Forrester logró las ideas que lo llevarían a su novedoso enfoque, sino que este ha sido el fruto de un largo proceso lleno de desafíos, personajes influyentes y varios hechos fortuitos.

En su obra *Principles of Systems* (1968) Forrester, citando al especialista en educación de Harvard Jerome Bruner, afirmó que entender que algo es una instancia específica de otra cosa más general es entender no sólo a esa cosa, sino también poseer un modelo para entender otras cosas del mismo tipo.

En este caso, el propio Forrester estaba resaltando el valor que tiene un modelo general para dar cuenta de casos particulares específicos del mismo modo en que Kuhn (2004) mostró que la oscilación de un resorte, el movimiento del péndulo, la caída de los cuerpos y otros casos de la mecánica quedan subsumidos en la ley general del Segundo Principio de Newton; y que los estudiantes pueden llegar a percibir las similitudes entre los distintos problemas y de ese modo adquirir mayor comprensión del marco teórico al resolver problemas ejemplares. Es decir, que “una vez captada la similitud [por parte del estudiante], percibida la analogía entre dos o más problemas distintos, [el estudiante] puede interrelacionar símbolos y relacionarlos con la naturaleza de las maneras que ya han resultado efectivas antes” (Kuhn, 2004, p. 290).

La educación en *management*, por aquellos años, era criticada por varios motivos. Peter Drucker (1959) afirmó que no se enseñaba a lidiar con los procesos de gestión del riesgo en los negocios. Forrester a su vez planteó que por un lado en la academia se trabajaba sobre casuística suelta, en ausencia de un principio unificador que enseñar a los estudiantes, mientras que por otro lado, se realizaban modelos matemáticos de tal nivel de abstracción que dificultosamente podían aportar algo útil al *manager* del mundo real:

La economía matemática y la [antigua] ciencia del *management* a menudo han sido aliados más cercanos a la matemática formal que a la economía y al *management* [aplicados]. La diferencia en el punto de vista es evidente si uno compara la literatura de negocios con las publicaciones en ciencia del *management*, o libros de economía descriptiva con textos de economía matemática. En muchos artículos de revistas profesionales la actitud es la de un ejercicio de lógica formal más que la de una búsqueda de soluciones útiles a problemas reales. En tales artículos, los presupuestos tienen dudosa validez y son fijados en un párrafo introductorio y adoptados sin justificación. En esta fundación formal pero irrealista se construye luego una solución analítica matemática para el comportamiento del sistema asumido.

Otra evidencia del sesgo de mucho de la ciencia del *management* actual [la antigua] hacia la motivación matemática más que gerencial es vista en una preocupación por las soluciones “óptimas.

Para la mayoría de los grandes problemas del *management*, los métodos matemáticos son incapaces de encontrar la “mejor” solución. El objetivo confundente de buscar solo una solución óptima a menudo resulta en simplificar el problema hasta que queda vacío de interés práctico. (2013, p.3).

La Teoría de Sistemas Dinámicos fue el aporte de Forrester para llegar a este ansiado principio unificador con interés práctico, y así avanzar hacia un crecimiento epistémico de la ciencia del *management*. En términos del filósofo inglés Philip Kitcher

La ciencia mejora nuestro entendimiento de la naturaleza mostrándonos cómo derivar descripciones de múltiples fenómenos, utilizando los mismos patrones de derivación una y otra vez (...) nos enseña cómo reducir el número de clases de hechos que tenemos que aceptar como esenciales (1989, p. 432).

Si bien Kitcher hacía referencia en la cita a su modelo de explicación unificacionista para las ciencias naturales, no parece haber motivos para pensar que dicho esquema de explicación científica no pueda ser aplicado también a las ciencias sociales como la que es objeto de este trabajo.

Industrial Dynamics (Forrester, 2013), de 1961, fue el texto iniciático de esta nueva matriz disciplinar. Aquí el autor planteó a la Teoría de Sistemas Dinámicos como aquello que aportaría finalmente el esqueleto para una ciencia progresiva del *management*. Coherente con esta idea, el autor también proveyó, en el mismo texto, un programa educativo montado sobre esta visión particular de la disciplina.

El famoso libro *Industrial Dynamics* modela una empresa, industria o economía nacional como un “sistema” de partes interconectadas: intercambian información, dinero, órdenes, materiales, personal y equipamiento entre sí y con el ambiente exterior. Estas partes o subsistemas se denominan “sistemas de retroalimentación”, debido a que sus salidas (*outputs*) poseen influencia directa o indirecta con sus entradas (*inputs*).

El estado de cada parte (o subsistema) es descripto por su “nivel” (por ejemplo, en el caso del subsistema “depósito” su nivel es la “cantidad de *stock*”), y la variación del mismo es su “tasa”. Por otra parte, la reacción de cada subsistema a un *input* puede que no sea instantánea, sino que ocurra algún “*delay*” que retrase dicha reacción. Así, el funcionamiento de una empresa industrial puede modelarse en función de los niveles de los distintos subsistemas y su variación en el tiempo, que es función de las tasas de flujo y de la estructura que interconecta cada subsistema con el resto y recibe y entrega flujos hacia el exterior. Las interacciones son generalmente no-lineales (las salidas no son proporcionales a las entradas)

y poseen múltiples retroalimentaciones (*feedbacks*). La representación puede programarse mediante el lenguaje informático DYNAMO y a partir de allí pueden realizarse simulaciones dinámicas con el fin de definir políticas empresariales y tomar decisiones para optimizar los procesos de una compañía.

Un ejemplo de modelo fundamentado en la Teoría de Sistemas Dinámicos que utiliza Forrester (2013) con propósitos didácticos, es el de una compañía que fabrica y distribuye un producto. Simplificadamente, se modela a dicha compañía como compuesta de tres sectores: *retailer* (ventas), distribución y fábrica. La heurística de modelado consiste en, primeramente, identificar para cada sector las variables relevantes, es decir los niveles, tasas de flujo y *delays* en la circulación de información, órdenes y materiales (dinero, personal y equipos son ignorados bajo la suposición de que se hallan disponibles en cantidad suficiente como para no influir en el comportamiento del sistema). Por ejemplo, para el sector *retailer*, los niveles son:

- Registro de órdenes recibidas del consumidor pero aún no completadas
- Inventario de producto en *stock*
- Promedio de ventas en el pasado reciente, utilizadas para decidir el inventario deseado y los niveles de reposición de producto

Las tasas de flujo principales a su vez son:

- Flujo de órdenes entrantes desde los clientes
- Tasa de embarques salientes hacia los clientes
- Tasa de órdenes salientes desde el *retail* hacia el sector distribución
- Tasa de embarques entrantes de producto desde el sector distribución

Los *delays* a considerar para el caso son:

- *Delay* en completar las órdenes de los clientes en *retail*
- *Delay* en decidir y preparar las órdenes salientes desde *retail* hacia el sector distribución
- *Delay* en la transmisión de órdenes desde *retail* hacia distribución
- *Delay* en el despacho de producto desde distribución hacia *retail*

Una vez identificados estos factores, la Teoría de Sistemas Dinámicos provee los elementos para realizar el modelo, plantear las ecuaciones y traducirlas al lenguaje informático DYNAMO a fin de realizar las simulaciones informáticas y poder tomar decisiones compatibles con los resultados obtenidos.

Forrester reconoció cuatro fundamentos centrales que habrían cristalizado en la nueva matriz disciplinar: la Teoría de Control por Retroalimentación desarrollada por su maestro

Gordon Brown, que proveería la base matemática para el modelado, la Teoría de la Decisión (que si bien para la época se hallaba en pañales, había producido importantes avances de la mano de la investigación operativa aplicada al ámbito militar), el enfoque experimental al análisis de sistemas (que proveería la base para la comprensión de sistemas complejos *via* simulaciones informáticas), y, como ya se mencionó, los avances en la tecnología informática que permitirían que las mencionadas simulaciones informáticas pudiesen representar sistemas cada vez más complejos a un costo exponencialmente menor.

2.2.5 *Análisis de la matriz disciplinar*

El estado del *management* en la década del '50, puede decirse que era primitivo. Según Forrester funcionaba como “arte”, sin principio unificador de la casuística, únicamente compuesto de descripciones de caso demasiado específicas o de abstracciones formales sin ningún tipo de utilidad práctica. Atendiendo a esta descripción del estado de la disciplina, puede notarse que la ausencia del mencionado principio unificador no permite un esfuerzo mancomunado de la comunidad científica en la búsqueda de soluciones, propio del estadio de la dinámica científica denominado por Kuhn (2004) “ciencia normal”. Así pues, antes de Forrester, puede aseverarse que la ciencia del *management* se encontraba en una etapa “inmadura”¹.

El *management* anterior a la Teoría de Sistemas Dinámicos poseía su terminología propia, y la matriz disciplinar que desarrolla Jay Forrester introduciría nuevos términos, anteriormente ausentes: “retroalimentación positiva”, “retroalimentación negativa”, “sistema abierto”, “sistema cerrado”, “nivel”, “comportamiento del sistema”, “inestabilidad”,

¹ Kuhn (2002a) en nota al pie menciona, respecto a su abandono del término “paradigma” que:

El cambio que acabo de perfilar en mi texto me priva del recurso a expresiones como «período pre-paradigmático» y «período posparadigmático» cuando se describe la maduración de una especialidad científica. En retrospectiva esto me parece totalmente positivo, porque cualquier comunidad científica, incluyendo las escuelas de lo que yo llamé previamente el «período preparadigmático», ha poseído siempre paradigmas (...). El hecho de no haber considerado este punto con anterioridad ciertamente ha ayudado a que el paradigma parezca una entidad cuasi-mística o una propiedad que, como el carisma, transforma a los infectados por él. Sin embargo, nótese, (...), que esta alteración en la terminología no altera en absoluto mi descripción del proceso de maduración. Los primeros estadios del desarrollo de la mayoría de las ciencias se caracterizan por la presencia de cierto número de escuelas en competición. Después, generalmente como consecuencia de un logro científico notable, todas o la mayoría de las escuelas desaparecen, un cambio que permite a los miembros de la comunidad que queda una conducta profesional mucho más poderosa. (pp. 202-203).

Por este motivo, en este trabajo se denomina a la etapa primitiva del *management* como “inmadura”, haciendo referencia a lo que en *La estructura* Kuhn había llamado “etapa preparadigmática”.

“respuesta no lineal”, “tasa de flujo”, “*delay*” entre algunos otros términos que eran propios de la ingeniería (específicamente, de la Teoría de Control por Retroalimentación). Por otro lado, existen términos del *management* clásico que persistieron en la terminología de Forrester y siguen por ende siendo utilizados: “*stock*”, “información”, “inventario”, “cliente”, “decisión”, “proveedor”, etc.

Del ejemplo de la sección anterior puede verse que el término “nivel”, que no era parte del léxico anterior, ahora aprehende distintas referencias del antiguo léxico como “registro de órdenes”, “inventario de producto en *stock*”, “promedio de ventas”, etc. De este modo, ahora las entidades referidas por “inventario de producto en *stock*” (básicamente producto) y las referidas por “registro de órdenes” (básicamente órdenes de compra de los clientes) pasan a verse como entidades de un mismo tipo, esta vez, del tipo referido por “nivel”. En términos kuhnianos, se podría decir que cambia la caracterización de las entidades de un mismo tipo y también cambian las relaciones de analogía.

Otros términos directamente no aprehenden ninguna referencia del *management* primitivo: “sistema de retroalimentación negativa de primer orden” no diría nada a un gerente de la década del ’40. Es decir, estos términos nuevos ponen en evidencia la existencia de una clase de objetos que antes no se registraban como parte del objeto de estudio. Al aparecer términos nuevos hay que hacer lugar a un nuevo tipo de entidades que debe ser tenido en cuenta.

Definitivamente ha cambiado no solamente la terminología sino también los procesos, entidades o recortes a los que se refieren los términos que persisten. Así, pueden encontrarse algunos términos que persisten pero son incorporados a clases de entidades nuevas (ahora son, a los ojos de la Teoría de Sistemas Dinámicos, niveles, tasas de flujo y *delays*), otros que son nuevos y aprehenden términos antiguos, y finalmente hay aparición de otros términos nuevos que refieren a entidades que no preexistían. Para el caso bajo análisis, no se registra la desaparición de términos. Por supuesto, términos centrales como “demanda”, “tiempo” y “decisión” conservan su traducibilidad directa.

Kuhn (2002b) afirmó que:

Afirmar que dos teorías son inconmensurables significa afirmar que no hay ningún lenguaje, neutral o de cualquier otro tipo, al que ambas teorías, concebidas como conjuntos de enunciados, puedan traducirse sin resto o pérdida. Ni en su forma metafórica ni en su forma literal inconmensurabilidad implica incomparabilidad, (...). La mayoría de los términos comunes a las dos teorías funcionan de la misma forma en ambas; sus significados, cualesquiera que puedan ser, se preservan; su traducción es simple-

mente homófona. Surgen problemas de traducción únicamente con un pequeño subgrupo de términos (que usualmente se interdefinen) y con los enunciados que los contienen. (...)

Llamaré «inconmensurabilidad local» a esta versión modesta de la inconmensurabilidad. (p. 50)

Puede decirse entonces que las modificaciones en el léxico del *management* introducidas por la Teoría de Sistemas Dinámicos provocan inconmensurabilidad local entre la nueva matriz disciplinar y el *management* de la etapa inmadura, principalmente debido a la introducción de nuevos términos. Esto, como explicó Kuhn, no significa bajo ningún punto de vista que el léxico nuevo y el antiguo no puedan compararse (de hecho la base lexical común, compuesta de términos persistentes, configura la estructura desde la cual la comparabilidad queda garantizada), pero la ampliación lexical genera la intraducibilidad sintomática de la inconmensurabilidad, especialmente por el agregado de términos nuevos que no pueden ser expresados en el antiguo léxico.

Continuando con el análisis de la matriz disciplinar, se identificarán sus elementos constituyentes según la cita anterior de Kuhn (1982): generalizaciones simbólicas, modelos (o analogías) y ejemplares (a estos últimos, por su importancia para la reconstrucción histórica, se les dedicará completa la próxima sección). Se agregarán a éstos también los “valores” propios de la matriz.

Las generalizaciones simbólicas “(...) son aquellas expresiones, empleadas sin cuestionamiento por el grupo, que pueden verse fácilmente en alguna forma lógica como $(x)(y)(z)\mathcal{O}(x,y,z)$. Son los componentes formales, o fáciles de formalizar, de la matriz disciplinaria” (1982, p. 321).

En Forrester (2013) se dedicó mucho espacio a mostrar las ecuaciones matemáticas (derivadas de la Teoría de Control por Retroalimentación) a través de las cuales pueden modelarse las distintas situaciones del *management* de las cuales da cuenta la nueva matriz. Como ejemplo, se volverá a traer a colación el caso del sector *retail* cuyos elementos constituyentes (niveles, tasas de flujo y *delays*). Uno de los niveles identificados para el sector era el “registro de órdenes recibidas del consumidor pero aún no completadas” (UOR), mientras otro era el “inventario de producto en *stock*” (IAR). Ambos niveles son de lo más sencillos en los modelos de la Teoría de Sistemas Dinámicos, puesto que en ambos casos, existe un único flujo de entrada (de órdenes en UOR, y de producto en IAR) y uno sólo de salida (de lo mismo). Las ecuaciones estándar de esta matriz disciplinar, para este tipo de niveles, se instancia para UOR de la siguiente manera:

$$UOR.K = UOR.J + (DT) (RRR.JK - SSR.JK)$$

UOR = órdenes incompletas en *retail* (medido en unidades de producto en las órdenes)

RRR = requisiciones (órdenes) recibidas en *retail* (unidades de producto por semana)

SSR = despachos enviados desde *retail* (unidades de producto por semana)

DT = delta de tiempo (semanas), es decir, el intervalo de tiempo entre las soluciones de las ecuaciones.

La ecuación calcula el número de órdenes incompletas en el tiempo presente K, basada en las órdenes incompletas calculadas en el tiempo anterior J, y en las tasas de flujo de entrada y salida durante el intervalo de tiempo JK entre cálculos de UOR. Las tasas de flujo de entrada y salida son asumidas constantes durante el intervalo JK (...). El largo del intervalo de tiempo DT multiplicado por la tasa de flujo de entrada RRR.JK provee las nuevas órdenes recibidas en el intervalo JK. Del mismo modo, (DT)(SSR.JK) provee las órdenes completadas en el intervalo JK. (Forrester, 2013, p.142, trad. propia).

La ecuación de un nivel es, en términos más sencillos, lo que en ingeniería se denomina un “balance de masa”. Si quiere saberse qué volumen de agua posee un tanque en todo momento, uno debe saber lo que tenía en el intervalo de tiempo anterior, sumarle el agua que entró y restarle la que salió del tanque. El mismo razonamiento podría realizarse para sistemas de otro tipo, por ejemplo, para monitorear la cantidad de dinero que posee en todo momento una cuenta bancaria.

Como el nivel “inventario” es de la misma naturaleza que el nivel “órdenes incompletas”, es de esperarse que la ecuación posea la misma forma.

$$IAR.K = IAR.J + (DT) (SRR.JR - SSR.JK)$$

IAR = Inventario actual en *retail* (en unidades de producto)

SRR = Despachos recibidos en *retail* (en unidades de producto por semana)

SSR = Despachos enviados desde *retail* (en unidades de producto por semana)

Entonces, la cantidad de producto en el inventario de *retail* será la que había en el período anterior, más la que entró menos la que salió, intuición formalizada en las ecuaciones presentadas, las cuales ya poseen el formato para programarlas en el lenguaje DYNAMO. Por supuesto, existen niveles más complejos que los utilizados aquí para el ejemplo, y hay ecuaciones para dar cuenta de de ellos, de las tasas de flujo y de los *delays*. Las relaciones entre esos componentes, ya sea que se hallen formalizados o no, constituyen entonces las generalizaciones simbólicas de la Teoría de Sistemas Dinámicos.

En cuanto a los modelos, Kuhn (1982) afirmó que

(...) proveen al grupo de analogías preferentes o, cuando se sostienen profundamente, de una ontología. Por una parte son heurísticos: el circuito eléctrico puede considerarse, provechosamente, como un sistema hidrodinámico en estado estable, o el comportamiento de un gas, como el de una colección de microscópicas bolas de billar en movimiento aleatorio. Por otra parte, son los objetos del compromiso metafísico: el calor de un cuerpo *es* la energía cinética de sus partículas componentes, o, más obviamente metafísico, todos los fenómenos perceptibles se deben al movimiento y a la interacción de átomos cualitativamente neutrales, en el vacío. (pp. 321-322, énfasis del autor)

Los modelos de esta matriz disciplinar son aquellas analogías surgidas de la exportación de ontologías sistémicas de la ingeniería hacia el *management*: modeladas bajo el crisol de la Teoría de Sistemas Dinámicos, las compañías no serían distintas (y por ende les corresponderían las mismas generalizaciones simbólicas) que las máquinas electrohidráulicas controladas mediante mecanismos de retroalimentación que constituirían los ejemplares exitosos de la Teoría de Control por Retroalimentación de Gordon Brown. Por otra parte, la Teoría de la Decisión surgida desde el seno militar, vista desde cierto nivel de abstracción, resulta, desde la nueva matriz disciplinar del *management*, perfectamente compatible con una metodología adecuada para el diseño de políticas decisorias en el ámbito empresarial. Estos compromisos, sin duda alguna, como afirma Kuhn, proveen heurísticas que permiten resolver una variedad de problemas que el viejo *management* no podía abordar sistemáticamente, y que instancian la gran novedad de la matriz disciplinar creada por Jay Forrester.

Los valores fueron descriptos en la Posdata de 1969 como otro de los elementos fundamentales de las matrices disciplinares:

Habitualmente se les comparte entre diferentes comunidades, más generalmente que las generalizaciones simbólicas o los modelos, y hacen mucho para dar un sentido de comunidad a los científicos naturalistas en conjunto. Aunque funcionan en todo momento, su importancia particular surge cuando los miembros de una comunidad particular deben identificar una crisis o, después, escoger entre formas incompatibles de practicar su disciplina. Probablemente los valores más profundamente sostenidos se refieren a las predicciones: deben ser exactas; las predicciones cuantitativas son preferibles a las cualitativas; sea cual fuere el margen de error admisible, debe ser continuamente respetado en un campo determinado, y así por el estilo. (2004, p. 283).

La pretensión de obtener “predicciones exactas” no es compatible con la mayoría de las ciencias que abordan sistemas complejos como los del *management* (y la mayor parte de

las ciencias sociales). Sin embargo, la nueva matriz disciplinar ha conseguido proveer tendencias de comportamiento de los sistemas lo suficientemente útiles como para tomar decisiones correctas y formular políticas que permitan mejorar el diseño del sistema bajo estudio:

Debería entonces esperarse de un modelo de un sistema dinámico que represente y prediga las características de comportamiento (como la rentabilidad, estabilidad de empleo y precios, tendencia de crecimiento, y relaciones periódicas típicas de cambios en las variables) del sistema presente. No debería esperarse que prediga estados futuros del sistema excepto en la medida que el sistema tenga continuidad y características de *momentum* que causen que las condiciones presentes y las tendencias persistan por un tiempo a pesar de las perturbaciones del ruido (Forrester, 2013, p.125).

Puede verse que la matriz disciplinar se ha alejado de las predicciones cuantitativas exactas para acercarse a predicciones de comportamiento útiles para la mejora de los sistemas. Así, la Teoría de Sistemas Dinámicos cambió su apreciación de las predicciones respecto al antiguo *management*, que, como se vio en secciones anteriores, privilegiaba modelos cuantitativos analíticamente resolubles cuyas soluciones óptimas exactas no arrojaban ningún conocimiento útil aplicable a sistemas del mundo real. Este tipo de modelos matemáticamente elegantes pero pragmáticamente inútiles serían abandonados junto a las descripciones casuísticas sin principio unificador del viejo *management*. El valor supremo desde Forrester en adelante se encontraría en la resolución de problemas de compañías reales. No resulta casual que esta visión instrumental, propia del mundo ingenieril, haya llegado al *management* de la mano de un ingeniero.

2.2.6 *Sistemas dinámicos: ejemplares exitosos*

Uno de los elementos característicos de las matrices disciplinares, según Kuhn, son sus “ejemplares”, los cuales “(...) son soluciones de problemas concretos aceptadas por el grupo [la comunidad científica] como paradigmáticas en el sentido usual del término” (1982, p. 322). En otras palabras, el ejemplar es todo aquel caso de aplicación de la matriz disciplinar que resulta exitoso, y buena cantidad de éstos toman la forma de ejercicios a resolver en los manuales de enseñanza científica.

El éxito de *Industrial Dynamics* fue casi instantáneo y se unió a la creciente tradición de modelado de sistemas económicos mediante simulaciones informáticas.² Sin embargo, la particularidad del trabajo de Forrester fue su gran adaptabilidad para modelar sistemas económicos de diversa índole, agregando una plétora de ejemplares exitosos a la matriz disciplinar.

Durante la década del 60, Forrester difundió su método y se dedicó a perfeccionarlo (su libro de 1968, *Principles of Systems*, proveería la versión de mayor nivel de generalidad) y hacia fines de la década, una serie de eventos inauguraría algunos interesantes y desafiantes modos de encarar problemas ya conocidos.

El hasta entonces alcalde de Boston, John Collins, había decidido en 1968 no ir por la reelección, y el MIT le ofreció un puesto como Profesor Visitante para la materia “Asuntos Urbanos”. La oficina que se le asignó fue la contigua a la de Forrester, no debido a una intencionalidad académica particular, sino porque Collins se movía en muletas (había sido víctima de la epidemia de poliomielitis de la década del 50) y por ello era necesario asignarle la oficina más cercana al ascensor (Bardi, 2011).

La cercanía entre el protagonista y Collins llevó a acaloradas discusiones sobre el complejo enigma de cómo podía modelarse y planificarse una gran ciudad, teniendo en cuenta variables como emigración, inmigración, generación de puestos de trabajo, etc. Todas preguntas ideales para encararse mediante el método de Sistemas Dinámicos. El resultado de esas discusiones fue un modelo informático cuyos novedosos y polémicos resultados fueron plasmados en el clásico del *management* urbano de 1968 *Urban Dynamics* (Forrester, 1999). Cabe aclarar que el modelo de este libro no es el primero que da cuenta de una ciudad entera. Incluso ya habían sido modelados países enteros, por ejemplo en Tinbergen (1937) se modeló Dinamarca y en Tinbergen (1939), EE.UU. pero mediante métodos econométricos, los cuales, como se verá más adelante en este capítulo, poseen una concepción del modelado más basada en datos empíricos y correlaciones estadísticas y menos en la comprensión profunda de la estructura del sistema. Una de las conclusiones polémicas de *Urban Dynamics* fue que era una mala idea para una ciudad generar viviendas económicas, pues atraen inmigración que luego no puede ser contenida si no hay infraestructura para puestos de trabajo suficientes. Así pues, la recomendación fue primero generar los puestos de trabajo y luego crear la cantidad de vivienda exacta para atraer a los trabajadores. Este sencillo *dictum* provocó múltiples

² Al igual que los casos del *gaming* perfeccionado por Martin Shubik y la microsimulación de Guy Orcutt. Véase Morgan (2012) y próximas secciones de este capítulo del trabajo de tesis.

críticas de parte de ciertos sectores “progresistas” que luchaban por la edificación de barrios populares, aunque también mostró el tipo de respuestas concretas que puede dar el análisis dinámico, atrayendo a muchos científicos, ingenieros y políticos hacia el método.

En *Urban Dynamics* la Teoría de Sistemas Dinámicos utiliza su léxico para aprehender distintos términos propios del *management* urbano. Así, entre aquellos elementos que están considerados como “niveles”, se hallan múltiples referencias como “el balance bancario, la población de la ciudad, el número de nuevas compañías y la cantidad de viviendas precarias” (p. 14). Las “tasas de flujo”, por otro lado, capturan los reflejos en la estructura modelada de las acciones políticas concretas instanciadas mediante la modificación de alguno de los niveles. Otros términos de la administración urbana anterior a la dinámica de sistemas persistieron sin cambios, como en el caso de “territorio”, “empleo”, “densidad poblacional”, entre otros.

La fama del método y del propio *Urban Dynamics* (sin mencionar la de Forrester) hicieron que su creador en 1969 fuese invitado a un congreso en Lago di Como (Italia) sobre asuntos urbanos. Dicho evento fue organizado por el flamante Club de Roma, una ONG formada por empresarios y académicos notables de todo el mundo bajo la dirección de Aurelio Peccei, un importante economista italiano, de gran jerarquía en la Fiat y fundador de la consultora ItalConsult. El contacto con los miembros del Club de Roma le trajo a Forrester la inspiración para su próximo y más polémico trabajo.

En 1970, mientras el Club de Roma preparaba un informe denominado “*On the Predicament of Mankind*” (Sobre el Apremio de la Humanidad), organizó un congreso en Berna, Suiza, donde Forrester fue invitado a participar. Allí, el ingeniero convenció a los miembros del Club de aplicar la Teoría de Sistemas Dinámicos para modelar la economía mundial completa, dando lugar a una novedosa herramienta de *management* global. Los invitó luego al MIT a observar el método de trabajo con simulaciones dinámicas. La modelización básica la desarrolló Forrester durante su vuelo de regreso a Boston (Bardi, 2011). En 1971 publicó *World Dynamics* (Forrester, 1973), un libro destinado a un público técnico, lleno de ecuaciones formalizadas en un código informático, el cual sin embargo recibió prensa de revistas *mainstream* como *Wall Street Journal*, *Science*, *Fortune* e incluso *Playboy*. El modelo despertó enormes polémicas, pues sus conclusiones señalaban un profundo colapso económico en algún momento del Siglo XXI, y encontraba como única solución una política económica decrecentista, contraria a la idea predominante de crecimiento infinito preconizado desde las esferas del capitalismo liberal (no por nada las

peores críticas vinieron de parte de los economistas, mientras las loas procedían principalmente de científicos e ingenieros). Este trabajo dio origen al aún más controversial *The Limits to Growth* (Meadows *et al.* 1972)

En el modelo de *World Dynamics*, el léxico de la Teoría de Sistemas Dinámicos se adaptó para capturar nuevas referencias propias de la economía global. Los niveles esta vez hacen referencia a “población mundial”, “inversión de capital”, “recursos naturales”, “polución” y “fracción de capital destinado a agricultura”.

La Teoría de Sistemas Dinámicos continúa creciendo y resolviendo nuevos y emocionantes desafíos, demostrando vitalidad y permanencia. Los científicos que trabajan bajo esta matriz disciplinar se encuentran institucionalmente agrupados en la System Dynamics Society, fundada en 1982³.

2.2.7 Conclusiones

De la descripción histórica presentada pueden observarse los siguientes puntos destacables.

En 1957 confluyeron una serie de factores que proveerían un marco propicio para lo que fue identificado en este capítulo como la creación de una matriz disciplinar del *management*. Esta permitiría el surgimiento de nuevas formas de concebir la composición de los sistemas en estudio, esto es, las empresas industriales, las ciudades, el mundo y sus dinámicas.

Por una parte existía una ciencia del *management* que planteaba preguntas pero otorgaba respuestas insatisfactorias (constituyendo anomalías) y provocaba que los científicos y las compañías demandasen nuevas soluciones.

En segundo lugar puede notarse una Teoría matemática de Control por Retroalimentación que, en combinación con la Teoría de la Decisión derivada del ámbito militar, fue capaz de modelar sistemas como los que son objetos de estudio del *management*, aunque hasta ese momento sólo había sido utilizada por la ingeniería en automatización de procesos electromecánicos.

En tercer lugar se identifica una ciencia informática, incipiente en el período estudiado, que permitió formalizar los modelos de la Teoría de Control por Retroalimentación

³ www.systemdynamics.org

para llevarla a lenguaje de máquina. De este modo se podrían realizar simulaciones computacionales para plantear y estudiar escenarios variados constituyendo así una herramienta útil para la toma de decisiones.

En cuarto lugar, se señaló la aparición de una tecnología nueva, la computadora digital, que proveyó las condiciones de posibilidad para realizar dichas simulaciones.

Los factores señalados hasta aquí cristalizaron en una nueva matriz disciplinar de la ciencia del *management*, la Teoría de Sistemas Dinámicos, la cual posee todos los ingredientes mencionados por Kuhn para ese tipo de unidad epistemológica de análisis metateórico:

a) Hubo cambios en las *generalizaciones simbólicas* (pasaron a agregarse aquellas formalizaciones de la Teoría matemática del Control por Retroalimentación).

b) Aparecieron cambios en los *modelos* (las compañías comenzaron a ser análogas a máquinas con módulos de control automático por retroalimentación).

c) Se modificaron los *valores* (las descripciones sueltas de la casuística del antiguo *management* y los modelos matemáticos abstractos de escasa utilidad práctica fueron abandonados por modelos que no buscan predicciones cuantitativamente precisas, sino más bien, proveer pautas y señales para el diseño de mejores sistemas industriales en el mundo real).

d) Llegaron nuevos y progresivos *ejemplares*.

También se describió la introducción de una nueva terminología, de modo tal que la nueva matriz disciplinar posee inconmensurabilidad local con el *management* de la etapa inmadura.

Los primeros ejemplares exitosos de esta teoría fueron desarrollados para el *management* industrial (*Industrial Dynamics*), pero el planteo de enigmas diferentes llevó a extender el método tanto a la administración de ciudades (*Urban Dynamics*), como a la administración de la economía del mundo como un todo (*World Dynamics*).

La matriz disciplinar “Teoría de Sistemas Dinámicos” actualmente está vigente y sigue siendo fructífera. En el año 1982 apareció una institución internacional que hoy sigue nucleando a la comunidad científica que trabaja bajo esta matriz: la System Dynamics Society. Los valores pregonados por esta organización son compartidos por sus miembros *qua* científicos enmarcados en una matriz disciplinar, todo lo cual puede identificarse con la constitución de una comunidad científica (o tribu, en la analogía antropológica típica de Quine (2013)) alrededor de estas prácticas, que sustentan la misma manera de concebir los

sistemas objeto de estudio tanto en sus componentes como en el estilo de abordar su dinámica. En otras palabras, comparten generalizaciones simbólicas, modelos, valores y ejemplares.

Puede concluirse también que los detalles del cambio conceptual introducidos por Jay Wright Forrester al *management* han sido capturados con un grado de precisión interesante por la metateoría kuhniana, siendo esta propicia a tal fin.

2.3 Línea Histórica sobre la evolución de las simulaciones en economía

2.3.1 Introducción

Otra forma de abordar históricamente a los modelos globales es pensándolos como parte de una línea genealógica de simulaciones en economía, que evolucionaron con los avances teóricos de la disciplina pero también con el desarrollo tecnológico del computador digital y su *software* para programar distintos simuladores.

Si bien es natural asociar a las simulaciones con los computadores, es interesante abordar a las protosimulaciones que se desarrollaron antes de la invención y masificación de las mismas. En vez de la resolución numérica automática de ecuaciones típica de las simulaciones modernas, los operadores debían trabajar, antes de la computadora digital, en forma tediosa, con calculadoras (bastante primitivas en la primera mitad del Siglo XX) sobre los modelos económicos concebidos. El trabajo de Slutsky de 1927 *The Summation of Random Causes as the Source of Cyclic Processes* (Slutsky, 1937) simula la evolución “ruidosa” de la bolsa utilizando números al azar. Pero en vez de utilizar los modernos generadores de cifras *random* (o más bien *pseudo-random*) el economista ruso utilizó los números que salían en la lotería inglesa, logrando, curiosamente, un aceptable ajuste empírico. Esta clase de ideas y técnicas han allanado el camino para formular las herramientas de simulación computacional que hoy en día se utilizan en todas las áreas de la economía.

2.3.2 Simulaciones econométricas

La econometría es “la aplicación de métodos matemáticos y estadísticos al análisis de datos económicos, con el propósito de aportar contenido empírico a las teorías económicas y verificarlas o refutarlas” (Maddala, 1992). Las simulaciones econométricas, entonces, se

basan más en tablas de datos registrados empíricamente y procesados mediante modelos estadísticos que en teorías económicas, puesto que tienen por objeto “verificarlas o refutarlas”, es decir, servirles de soporte empírico, para lo cual deben ser independientes de estas.

Es interesante, en el recorrido genealógico de las simulaciones económicas, analizar los complejos macromodelos econométricos creados por el premio Nobel de economía Jan Tinbergen, los cuales fueron mencionados someramente en la sección anterior. Tinbergen (1937) y Tinbergen (1939) son modelos de Dinamarca y EE.UU. respectivamente, diseñados para planificar políticas que pudieran sacar a los mencionados países de la Gran Depresión. Así, estos modelos econométricos permitían implementar distintos planes económicos en la virtualidad a fin de prever qué efectos podrían tener en la vida real. Exactamente como los modelos globales, aunque con un límite espaciotemporal más acotado... y con papel y lápiz en vez de utilizando el soporte digital de las computadoras modernas.

En el mismo estilo que los trabajos de Tinbergen, puede considerarse al modelo de Samuelson (1939), el cual simulaba el funcionamiento de una economía keynesiana (tomando, igual que el anterior, datos empíricos y una serie de correlaciones estadísticas). También a papel, lápiz y calculadora.

La primera simulación econométrica aplicada con una computadora digital es, de acuerdo a Morgan (2012), el modelo de Klein-Goldberger (1955). La tradición de realizar simulaciones computacionales con técnicas econométricas aún persiste, e incluso, como se verá más adelante, algunos modelos globales importantes utilizan en su matriz tablas econométricas, aunque combinadas con otras técnicas de modelado. Sin embargo, los modelos globales que se basan íntegramente en esta metodología, algunos de los cuales han aparecido a fines de la década del 80 y durante la década del 90, no han gozado de la aprobación de los primeros modeladores. Esto se debe a que los modelos econométricos no tendrían en cuenta variables sociales y económicas que resultan fundamentales para la comunidad de modeladores de sistemas globales. De hecho Gilberto Gallopín (2004), uno de los creadores del Modelo Mundial Latinoamericano (o Modelo Bariloche) asocia el estilo de los modelos globales de dicho período con la cosmovisión neoliberal de la época, que tendían a considerar a las variables macroeconómicas como las únicas a tener en cuenta en la planificación política. El mismo Forrester fue muy crítico hacia la econometría cuando mencionó que

En economía, los modelos han sido a menudo contruados trabajando hacia atrás desde resultados observados para el sistema total. Incluso como objetivo teórico, no hay razón evidente para creer que el proceso inverso de ir desde el comportamiento del sistema total a las características de las partes es posible en las clases de sistemas complicados y ruidosos que se encuentran en negocios y en la economía.

El intento de reproducir meramente un sistema económico en un modelo ha llevado a modelos que son estadísticamente derivados de series temporales observadas del comportamiento pasado. Es muy improbable que los mecanismos causales internos de un sistema complejo de retroalimentación no-lineal pueda ser derivado de una secuencia de observaciones externas de su performance normal (...)

En formular el modelo de un sistema, deberíamos depender menos exclusivamente de las estadísticas y de datos formales y hacer un mejor uso nuestro vasto inventario de información descriptiva. (2013, p. 54).

2.3.3 Teoría de Juegos y Gaming

El trabajo de John von Neumann y Oskar Morgenstern de 1944 *Theory of Games and Economic Behavior* inauguró la rama de las matemáticas conocida como “Teoría de Juegos”. Si bien esta teoría se aplicó al estudio de la biología y simulaciones militares entre otras disciplinas, su uso más extendido se realizó en la economía. Uno de los pioneros en realizar simulaciones computacionales de juegos para la economía fue Martin Shubik.

Shubik estudió matemáticas y luego electrónica. Su paso a la economía fue justamente luego de leer la obra de von Neumann y Morgenstern, que lo inspiró a entrar en 1949 al departamento de economía de Princeton, donde trabajó con el mismo Morgenstern (Morgan, 2012). En 1954 pasó a estudiar la economía desde cuestiones relativas al comportamiento humano y poco después entró a trabajar a la General Electric. Al igual que Forrester, un profundo cambio de cosmovisión afectó a Shubik durante su tiempo en dicha compañía:

En particular, en General Electric, sentí que el futuro de la planificación a largo plazo yacía en el desarrollo de buenos y detallados modelos computacionales de las firmas y las industrias. Mi visión, la cual aún no se ha cumplido, era ver a las simulaciones integradas al sistema de adquisición de datos de la firma y utilizadas para la generación de predicciones contingentes y la planificación a largo plazo y para el entrenamiento y el *gaming* operacional. (Shubik, 1994, p. 252, trad. propia)

En la década del 60 Shubik trabajó con IBM para desarrollar simulaciones basadas en Teoría de Juegos y plataformas de *gaming* (combinación de experimento de comportamiento y de simulación, consistían en juegos donde operadores de carne y hueso (generalmente estudiantes) interactuaban con un entorno simulado por computadoras, siendo el *output* de la plataforma no sólo dependiente del modelo y de las condiciones iniciales programadas sino también de las decisiones tomadas por los operadores humanos). Shubik dedicó mucho tiempo al uso de simulaciones en economía. Curiosamente fue muy crítico del primer modelo global publicado por Forrester en *World Dynamics*, dado que este no incluía variables de comportamiento, las cuales Shubik consideraba esenciales para modelar la economía (Shubik, 1971).

2.3.4 *Microsimulaciones*

La historiadora de la economía Mary Morgan (2012) planteó la historia de las simulaciones en economía desde la teoría de juegos y su uso en simulaciones por parte de Martin Shubik, y desde Guy Orcutt y sus “microsimulaciones”.

Guy Orcutt comenzó su carrera en la Universidad de Michigan estudiando ingeniería eléctrica y luego física, aunque finalmente se cambió a la economía. Durante su primer trabajo en el MIT, a mediados de la década del 40, desarrolló una calculadora estadística que lo acompañó durante años en su desempeño posdoctoral en economía aplicada. Esto configura un perfil individual muy similar a la de Forrester y Shubik, donde la mentalidad práctica y un sólido conocimiento de ciencias exactas precedieron a los cambios conceptuales que introducen los mismos en economía.

Admirador de Tinbergen, no compartía sin embargo su optimismo respecto al poder de sus macromodelos para analizar la economía ni para asistir en la toma de decisiones políticas. El motivo de su pesimismo no refería a una acusación de incapacidad de representar correctamente el objeto modelado, sino de la enorme dificultad acarreada por el proceso de validación para dichos modelos. Orcutt movió entonces el foco de la macroeconomía a la microeconomía, considerando que los sistemas económicos surgían como emergentes de los comportamientos individuales de la población. Estos comportamientos individuales podían validarse empíricamente con facilidad a través de, por ejemplo, encuestas, y solucionarían los problemas con los que los macromodelos econométricos *alla* Tinbergen se enfrentaban.

Orcutt (1957), (1960) y (1961) fueron los primeros trabajos realizados con la asistencia de microsimulaciones computacionales, y consistieron en la generación de agentes individuales (virtuales) cuyos patrones de comportamiento y características fueron tomadas de censos y de algunas entrevistas individuales, y algunos patrones de azar introducidos mediante técnicas de Montecarlo⁴. Hoy en día este tipo de simulaciones (llamadas “modelos basados en agentes”) son muy utilizadas para el estudio de múltiples campos complejos, incluyendo ciencias sociales.

2.3.5 Simulaciones económicas en Latinoamérica

Como se ha visto a lo largo de esta línea histórica, el advenimiento de las computadoras digitales en la década del 50 coincide con la aplicación en economía de varias técnicas matemáticas que, traducidas al lenguaje de máquina, se convirtieron en potentes herramientas que sostuvieron matrices disciplinares que persisten hasta el día de hoy: la econometría, la teoría de juegos y la microsimulación, además de las múltiples aplicaciones económicas de la Teoría de Sistemas Dinámicos de Forrester analizadas en la línea histórica anterior. A continuación el énfasis se efectuará sobre las simulaciones que se encuentran directamente sobre la línea genealógica de los modelos globales, pero transportando el foco geográfico hacia Latinoamérica, a fin de dibujar un panorama breve de cómo llegaron y cómo fue el desarrollo de las simulaciones de la economía en dicha región.

Luego del éxito de *Industrial Dynamics*, la traslación del método de sistemas dinámicos a macroregiones por parte de Forrester ocurrió, como se ha visto, a fines de la década del 60 para ciudades y principios de la década del 70 para el mundo entero. Sin embargo, Holland y Gillespie (1963) publicaron un modelo que daba cuenta de un país subdesarrollado hipotético (utilizando principalmente información sobre la India). Para esto, fueron asistidos por parte del equipo que había desarrollado el lenguaje de programación DYNAMO, el cual fuera utilizado para los modelos de la Teoría de Sistemas Dinámicos

⁴Método numérico creado por Stanislaw Ulam y John von Neumann que permite resolver distintos tipos de problemas matemáticos mediante la simulación de variables aleatorias. Debe su nombre al Casino de Montecarlo, puesto que la ruleta es uno de los artefactos más sencillos para la generación de números aleatorios. Si bien las computadoras no pueden entregar números al azar, pueden, si se les programan algoritmos de cierta complejidad, entregar secuencias numéricas tan impredecibles que, a efectos prácticos, funcionan como si estuviesen elegidos al azar. A estos algoritmos se les denominan “pseudo-random”. El primer algoritmo de números pseudo-random fue creado por el propio von Neumann. (ver Sóbol, 1983).

(incluyendo los modelos globales *World2* y *World3*). El modelo de Holland fue corrido sobre la computadora digital IBM 704 del MIT, y tenía por propósito principal planificar políticas para apoyar a los países subdesarrollados (Castro y Jacovkis, 2015).

A la hora de elegir un país donde trabajar para probar el potencial de aplicación de sus modelos en Latinoamérica, Holland eligió Venezuela en 1961, dado que el mismo había terminado tempranamente su dictadura militar en la década del 50, y su economía basada en la exportación de petróleo le permitía cierta holgidez para realizar inversiones fuertes. Allí desarrolló el modelo V-2, que simulaba la historia económica de Venezuela. En esa época Holland conoció al químico argentino Oscar Varsavsky, quien quedando impresionado por la potencia de las simulaciones llevó el método hacia la Argentina. Varsavsky y su grupo generaron una miríada de simulaciones de ciencias sociales, incluyendo una muy llamativa simulación de la Utopía de Tomás Moro (Domingo y Varsavsky, 1967). Algunos de esos modelos para planificación de políticas se aplicaron en el país, pero también en Bolivia, Brasil y Chile.

El caso de Chile es paradigmático pues durante el gobierno de Salvador Allende se realizó un experimento de enormes dimensiones: el proyecto Cybersyn (o Synco), donde una red de computadoras alimentaba en tiempo real a un modelo computacional que permitía planificar políticas en función de estos *inputs* medidos en campo. Esta idea, que combinaba la metodología de la cibernética del británico Stafford Beer con la Teoría de Sistemas Dinámicos de Forrester, fue llevada a cabo de manera parcial y durante muy poco tiempo debido al golpe militar de Pinochet (ver Medina, 2006; 2011). Cybersyn consistió, básicamente, en una red de comunicaciones que aprovechaba distintas formas de transmisión de información (incluyendo radio, telex y chasquis) para comunicar a un órgano central que tomaba decisiones relevantes para el mantenimiento de la economía nacional. Este órgano central utilizaba un modelo global (en el sentido de Castro, ver capítulo 1 de este trabajo de tesis) de la economía chilena para tomar decisiones. En Baradit (2015) se describió una anécdota que ilustra el poder de Cybersyn:

En octubre de 1972 vino el ajuste final. Hoy se sabe que la CIA pagó dos mil dólares semanales a cada camionero que se sumara al paro que estrangularía a Santiago. La operación fue gigantesca y exitosa: de los cincuenta mil camiones que abastecían Santiago, solo cuatrocientos se mantuvieron fieles al gobierno de la Unidad Popular. La oposición sonreía, jamás podrían sostener el abastecimiento con esa ínfima cantidad de vehículos. Santiago de Chile era un monstruo

administrativo que requería de suministros diarios de alimentos y materias primas imposibles de coordinar con ese contingente.

(...) Con los días, Santiago no caía, el abastecimiento se mantenía, precariamente pero milagrosamente se mantenía. ¿Qué estaba ocurriendo?, se preguntaban los conspiradores.

(...) Un proyecto tan secreto que ni siquiera la todopoderosa derecha chilena lo había detectado. Un proyecto tan avanzado que cuando finalmente lo descubrieron gritaron a los cuatro vientos, a través de uno de sus muchos órganos de prensa, que el gobierno de Allende estaba desarrollando un sistema de ciencia ficción... para el control mental de los chilenos. SYNCO, Sistema de Coordinación y Control, había hecho el milagro de controlar y coordinar computacionalmente el funcionamiento de los pocos camiones fieles al gobierno para mantener el abastecimiento de la ciudad a un nivel aceptable. (p. 154-155).

En el caso del proyecto Cybersyn, la derecha pinochetista asesorada económicamente por el gurú Milton Friedman, simplemente canceló el proyecto y eliminó todo vestigio de él, por la evidente incompatibilidad entre la visión neoliberal de Friedman y el “socialismo cibernético” de Beer y Allende. Pero queda claro que aún así constituyó un precedente de lo que podría realizarse con esta tecnología puesta al servicio de un país.



Fig. 2.4: Sala de operación de Cybersyn

(https://c1.staticflickr.com/3/2186/2261288102_0ea373266e.jpg)

De esta parte de la línea histórica, debe quedar claro que las simulaciones de sistemas amplios no era extraña en Latinoamérica después de los años 60s. Por ello tampoco es extraño que luego del modelo global *World2* de Forrester y su inmediato sucesor *World3* del Club de Roma, investigadores sudamericanos liderados por el argentino Amílcar Herrera irrumpieran en la escena con el célebre Modelo Mundial Latinoamericano. La polémica acaecida entre este grupo de modeladores y el Club de Roma es uno de los ejes centrales de esta tesis y será estudiada en profundidad más adelante.

2.3.6 Conclusiones

La idea de diseñar modelos económicos complejos que combinan cálculos matemáticos y múltiples datos empíricos tiene una historia ciertamente más antigua que la de la computadora digital, cuyo uso recién se extiende a partir de los años 50s. Esto explica que la herramienta tecnológica haya sido aplicada con tanto éxito al poco tiempo de haber surgido a la luz.

Así, es posible rastrear a los modelos globales dentro de una evolución de modelos económicos que pudieron complejizarse gracias a que la tecnología permitió procesar grandes cantidades de cálculos y datos en tiempos cada vez menores. Esta sección se enfocó en la econometría, la teoría de juegos y el *gaming* y las microsimulaciones como ramas de la economía que aplicaron simulaciones informáticas masivamente. Finalmente se rastreó la llegada de las simulaciones a Latinoamérica. Con este panorama queda claro que los modelos globales no son un invento espontáneo sino que poseen una genealogía robusta dentro de la economía. Puede vislumbrarse también un espíritu de época donde se creyó que la herramienta informática podía proveer grandes ventajas para gestionar sistemas económicos de gran escala. En el caso particular de Holland y los latinoamericanos se notó un gran optimismo en el potencial de las simulaciones para ayudar a los países emergentes. Una gran efervescencia política ha acompañado a este interesantísimo episodio de la historia de la ciencia.

2.4 Línea histórica sobre la emergencia de la conciencia ecológica

2.4.1 Introducción

Los primeros dos modelos globales (*World2* y *World3*) respondieron a una concientización general acerca de los límites que posee el planeta sobre sus recursos naturales y sobre su capacidad de soportar la polución producto de las actividades antropogénicas. Una gestión más inteligente de los recursos (incluyendo como variable fundamental el crecimiento demográfico) requería un enfoque científico más apropiado que las meras descripciones cualitativas, y eso es lo que vinieron a aportar estos modelos globales. Por ello, resulta importante para este tópico analizar una sucesión de hitos importantes que llevaron a que se instale en la agenda de la humanidad esta conciencia ecológica. Es, como se intentará demostrar en esta línea histórica, efectivamente la agenda ecológica la que ha aportado la cosmovisión guía para el diseño de los modelos *World*.

2.4.2 La conciencia ecológica en la economía clásica

La economía es conceptualmente la ciencia que enfoca su campo de acción en la administración de recursos escasos. Es natural que provenga de esta disciplina la idea de que los recursos naturales deberían protegerse, y de que el crecimiento humano ilimitado es una mala idea en un planeta limitado. Pues bien, el nombre más asociado en la economía clásica con esta noción pesimista es el de Thomas Malthus.

El mencionado clérigo anglicano fue el precursor de la idea de moderar el crecimiento y el consumo. Desde su clásico *Essay on the Principle of Population* de 1798 (Malthus, 1998) promulgó el popular presagio de que la población (siempre que no guarde ninguna precaución a todo fin útil) multiplica su número geométricamente mientras que los recursos se multiplican aritméticamente. Esto significa que en algún momento no habrá, para este autor, suficientes alimentos para todas las personas.

Sobre este tópico es interesante revisar la llamada “paradoja de Jevons”. En su obra paradigmática de 1865 *The Coal Question* (Jevons, 2009), el economista y filósofo británico William Stanley Jevons afirmó:

Ahora bien, si la cantidad de carbón utilizado en un horno, es disminuído en comparación con el rendimiento, las ganancias del comercio se incrementarían, nuevo capital sería atraído, el precio del

arrabio caería, pero su demanda se incrementaría; y eventualmente el mayor número de hornos haría más que compensar la consumición disminuída de cada uno. (Jevons, 2009. p.76).

En otras palabras, lo que Jevons afirmó es que la mayor eficiencia en el consumo de recursos lograda por las nuevas tecnologías no iba a ser capaz por sí sola de superar las complicaciones debidas a la escasez. De hecho, las empeorará. Según Polimeni *et al.* (2007), la paradoja cuestiona dos formas diferentes de un argumento muy común en las discusiones académicas y coloquiales sobre sustentabilidad: la idea de que la misma emerge como consecuencia simplemente de consumir menos. El argumento presentaría dos formas distintas pero de consecuencias equivalentes: la pesimista y la optimista. La pesimista sugiere que la gente debe reducir voluntariamente su tasa de consumo de recursos para volverse más sustentable (por ejemplo tomar duchas más cortas o frías, usar transporte público, comer menos carne, etc.), mientras que la optimista consiste en pensar que la innovación tecnológica y el desplazamiento de una economía industrial a una basada en servicios reducirá nuestro consumo a niveles sustentables sin sacrificio alguno. Mucho puede decirse sobre la paradoja de Jevons y sus consecuencias en múltiples aspectos de la economía y otras áreas e incluso en la vida cotidiana, pero para este trabajo es suficiente con establecer el corolario siguiente: una economía sustentable no puede diseñarse a partir de ideas lineales (como consumir menos o mejorar la eficiencia), puesto que el sistema de producción y consumo es complejo y, por ende, necesariamente no-lineal.

2.4.3 *La transición*

Más allá de que se ha mostrado que en el siglo XIX existía la conciencia de la necesidad de controlar inteligentemente los recursos y el consumo de los mismos para evitar escasez, lo cierto es que los avances tecnológicos acelerados y un clima de optimismo importante propio de la modernidad imperó en el mundo en general casi ininterrumpidamente hasta el estallido de la Primera Guerra Mundial. Bardi (2011) mencionó que la violencia de la guerra y su inusitada cantidad de muerte y destrucción inauguraron un aire de época densa y grisácea. El crack de Wall Street de 1929 y la gran depresión subsiguiente hundió al mundo entero en una profunda pobreza y propició el ascenso y establecimiento de gobiernos profundamente autoritarios en Europa. La preocupación en esta época no giraba alrededor de los recursos ni mucho menos la polución, sino, justamente, alrededor de los autoritarismos y

el miedo a una tecnología que podría tragarse la humanidad del hombre. Puede apoyarse el relato de Bardi a través de la observación de la temática y la estética de importantes películas de ciencia ficción como *Metropolis* de Fritz Lang (1927, ver Fig. 2.5) o *The Things to Come* de William Cameron Menzies (1936) o libros como *Brave New World* de Aldous Huxley (1932).

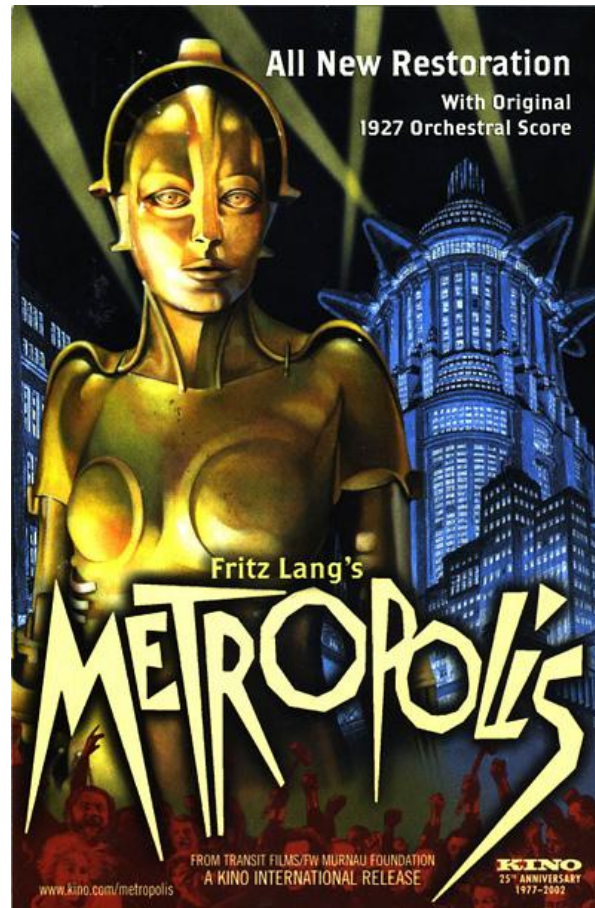


Fig. 2.5: Poster de la película *Metropolis* de Fritz Lang
(https://c1.staticflickr.com/5/4003/4652778153_d76e65ff89_z.jpg)

El clima optimista se reinstaló con mucha fuerza terminada la Segunda Guerra Mundial. Estados Unidos y la Unión Soviética se consolidaron como las potencias mundiales hegemónicas y se inauguró una carrera tecnológica de profundas implicancias inscripta en el contexto de la Guerra Fría. Es en la segunda posguerra que apareció la computadora digital y también aquí es que comenzó la carrera espacial. El tópico de la ciencia ficción siguió siendo el persistente peligro del autoritarismo: puede ilustrarse esta visión analizando el argumento de las novelas de George Orwell *Animal Farm* (1945) y *1984* (1949), o *Fahrenheit 451* de Ray Bradbury (1953). También existieron varias películas de ciencia ficción denunciando el

peligro de la paranoia macartista en Estados Unidos, tales como *The Invasion of the Body Snatchers* de Don Siegel (1956) o *The Night of the Living Dead* de George Romero (1968).

Más allá de las mencionadas distopías, la prosperidad surgida del *New Deal*, la llegada del hombre al espacio primero y luego a la luna, el reemplazo del carbón por el petróleo en la década del 50, el surgimiento de la energía nuclear con fines pacíficos y la “revolución verde” en agricultura, entre otras cosas, parecían configurar un clima de época tecno-optimista, lejos de una idea de crisis medioambiental. Sin embargo, determinados eventos y trabajos científicos surgidos en la segunda mitad del Siglo XX, serían responsables de la emergencia definitiva y puesta en agenda de una cosmovisión que tomaba muy en serio la posibilidad de una catástrofe ecológica de dimensiones planetarias.

2.4.4 *El surgimiento y consolidación de la conciencia ecológica contemporánea*

Un evento que, según Bardi (2011), marcó un antes y un después en la historia del surgimiento de la conciencia ecológica fue la llamada “Gran Niebla de Londres” de 1952. La crisis económica de la posguerra en Inglaterra había llevado a que el carbón de buena calidad se exportara, por lo que en el invierno inusualmente crudo del 1952 los londinenses se vieron obligados a quemar en sus estufas un carbón de pésima calidad, rico en azufre y metales pesados. En consecuencia, la ciudad se vio invadida por una densa capa de smog que causó intoxicaciones y problemas pulmonares a muchísimas personas (ver fig 2.6). Si bien no existe consenso en el número de muertos por la niebla, algunas estimaciones lo calculan a este en alrededor de 12.000 personas.⁵ Los ingleses rápidamente promulgaron leyes para mantener el aire limpio, pero quedó claro que esta clase de tragedias hicieron necesario invertir más recursos en estudiar la influencia que las personas pueden ejercer sobre el medioambiente. La palabra “polución”, utilizada más que nada para hacer referencia a la radioactividad surgida como consecuencia de la detonación de explosivos nucleares, ahora pasaba a formar parte del vocabulario coloquial.

⁵<http://news.bbc.co.uk/2/hi/health/2545747.stm>, post del 05/12/2002 (BBC Health) recuperado el 22/03/2016



Fig 2.6: Imagen de Londres durante el episodio de la Gran Niebla

([https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/02/Nelson%27s Column during the Great Smog of 1952.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/02/Nelson%27s_Column_during_the_Great_Smog_of_1952.jpg))

Pueden rastrearse, por estos años, una serie de trabajos científicos de divulgación que progresivamente instalaron la conciencia ecológica que, producto de la Gran Niebla, ya se hallaba en estado incipiente en la sociedad global.

En el año 1969, el científico James Lovelock desarrolló la hipótesis Gaia (ver Lovelock, 1985), que supone que el planeta Tierra es un organismo que funciona como sistema autorregulado, siendo importante no intervenir negativamente sobre alguna de estas interacciones a fin de evitar el colapso del sistema como un todo.

Otro importante trabajo para esta línea histórica es el del biólogo Garrett Hardin *The Tragedy of the Commons* (1968) donde el autor realizó una metáfora de los recursos naturales del mundo graficándola como las pasturas comunes a un conjunto de pastores de ovejas. Un pastor hace que sus ovejas coman un poco más que lo que sería lo recomendable a fin de mantener el equilibrio en las pasturas, dado que el daño que genera por esta acción mínima es muy bajo comparado con el beneficio percibido. Sin embargo, cuando los demás pastores comienzan a operar bajo la misma racionalidad, el sistema colapsa. Este trabajo fue muy popular y sirvió como una alerta sobre los peligros de la racionalidad utilitarista propia del liberalismo (que pregonaba que lo racional es la maximización del beneficio propio) pero también explicaba que una gran densidad poblacional podía empeorar el problema de la administración de los recursos comunes.

Más explícito y enfocado sobre el problema de la superpoblación fue el trabajo del biólogo estadounidense Paul Ehrlich de 1968, *The Population Bomb* (Ehrlich, 1988). El autor predijo en esta obra hambre y pestes como consecuencia de la tendencia de crecimiento exponencial de la curva demográfica. En tono catastrofista, la edición de Ballantine de 1988 reza en la tapa “Mientras usted lee estas palabras, tres niños están muriendo por desnutrición y veinticuatro bebés están naciendo”.

Otro importante trabajo por su influencia en la emergencia de la conciencia ecológica también provino de una bióloga, en este caso Rachel Carson, cuyo trabajo de 1962 *Silent Spring* (Carson, 1994) previno sobre las consecuencias críticas que podría tener sobre un ecosistema la erradicación de ciertos insectos mediante el uso de agrotóxicos. Siendo este trabajo publicado en una época donde era moneda corriente la utilización del DDT, sirvió para poner en agenda la necesidad de controlar el uso de pesticidas y herbicidas de uso agrícola, y para instalar la idea de que estos químicos también representaban una forma de polución.

Además de los tópicos elementales mencionados hasta ahora como parte de la conciencia ecológica, hay que destacar al calentamiento global fruto del efecto invernadero como uno de los grandes fantasmas de la época. Aún a pesar de la cantidad de recursos científicos y tecnológicos invertidos en este área, aún hoy no hay consenso sobre la influencia antropomórfica sobre este efecto (ver Frigg *et al.*, 2015), aunque la opinión mayoritaria sea que dicha influencia es real y crítica. El trabajo que instaló este tópico en la agenda fue el del oceanógrafo estadounidense Roger Revelle junto al químico austríaco Hans Suess (Revelle & Suess, 1957), donde se mencionó por primera vez la cuestión del efecto invernadero.

Los mencionados trabajos son paradigmáticos para ilustrar el clima de época. También es posible aquí nombrar algunas historias de ciencia ficción que apoyan la tesis de que los peligros de la polución y el desequilibrio medioambiental estaban latentes en las conciencias de aquellos días. Superhéroes como el Hombre Araña y los X-Men son creados en los años 1962 y 1963 respectivamente, y en ambos casos se trata de historias acerca de personas que han adquirido distintos superpoderes por exposición a radiación u otros agentes contaminantes. En *Soylent Green* de Richard Fleischer (1973) el policía duro encarnado por Charlton Heston debe desenmascarar una conspiración llevada a cabo por una corporación alimenticia monopólica en un sobrepoblado futuro cercano, descubriendo que la contaminación del planeta hacía que el rendimiento de la cosecha de alimentos naturales sea cada vez menor. Es también interesante la imagen propuesta por la película *Silent Running* de

Douglas Trumbull (1972, ver Fig. 2.7), donde los protagonistas intentan proteger el último resabio de flora existente en el planeta.



Fig. 2.7: Poster de la película Silent Running. (<http://dimland.blogspot.com.ar/2014/12/>)

En la sección 2.3.5 se ha relatado brevemente el momento en que Jay Forrester conoció a Aurelio Peccei en el año 1968 durante una conferencia sobre problemas urbanos, y cómo se embarcó a pedido de este en la confección de un modelo global en 1970. Según Bardi (2011), la idea original de los miembros del Club de Roma era que los modelos globales se centraran en cómo mejorar la calidad de vida de aquellos sumidos en la pobreza y no en los límites físicos al crecimiento económico, aunque posteriormente se convencieron de la trascendencia del este último tópico (y como se verá más adelante, fueron duramente criticados por ello, especialmente por los creadores del Modelo Mundial Latinoamericano). Resulta natural, dado el panorama que se ha graficado en esta línea histórica, que tanto Forrester como los integrantes del Club de Roma hayan optado por trabajar en un modelo matemático computacional que pudiera dar cuenta de la interacción de las variables que configuran un mundo complejo y cuyos límites acababan de hacerse visibles. La polución

aparecía como un elemento más de los que potencialmente podían causar la crisis en el mundo modelado, si no se la tenía a raya con una política ecológica consciente.

El trabajo de Forrester no fue tan popular como su continuación, el de sus discípulos del grupo Meadows: el trabajo *Limits to Growth* de 1972 (Meadows *et al.*, 1972) fue vendido por millones en todo el mundo y ha contribuido a popularizar definitivamente la cosmovisión ecologista. La idea de que el planeta tiene límites que deben ser respetados había llegado para quedarse.

2.4.5 Conclusiones

Lo que queda claro de esta línea histórica es que si bien la idea de que los recursos planetarios son escasos y deben administrarse correctamente existía desde los economistas clásicos, la conciencia ecológica surgiría mucho tiempo después, en el siglo XX. Se han repasado varios trabajos científicos fundamentales que han contribuido a la emergencia de la idea de un mundo en peligro por las actividades humanas, los cuales a su vez se han nutrido de ciertos eventos antropogénicos catastróficos, como la Gran Niebla de Londres o el uso excesivo del DDT. A estos trabajos científicos se les ha agregado una serie de libros y películas de ciencia ficción propios de la época, a fin de mostrar la incidencia de esta concientización en el público no-científico.

Por supuesto la línea histórica no fue exhaustiva, y se ha llegado hasta los modelos Forrester/Meadows con el fin de abonar la tesis de que dichos modelos, además de haber surgido como ejemplares de la Teoría de Sistemas Dinámicos y como evolución de la capacidad de modelado computacional en economía, fueron asimismo un eslabón central en una cadena de eventos, ficciones y trabajos científicos que instalaron la cuestión ecológica como tópico central, junto a los nombrados predecesores y a muchos trabajos posteriores. De hecho, en Meadows *et al.* (1972) se hizo referencia no sólo a la polución sino también a otros fenómenos críticos antropogénicos como la extinción de especies (como las ballenas) y la erosión de suelos por los abusos en la agricultura. Es posible que si estos modelos hubieran surgido dentro de otro clima de época, no hubieran tenido en cuenta una crisis ecológica como posibilidad latente, y se hubieran parecido más al modelo que el Club de Roma tenía originalmente en mente (un modelo donde el peligro hubiera sido la desigualdad, que existió

desde comienzos de la historia de la humanidad). Esta hipótesis hace que la línea histórica propuesta resulte relevante para el estudio de la historia de los modelos globales.

2.5 Cierre del capítulo

En este capítulo de la tesis se ha dado cuenta de la historia del primer modelo global creado por el ingeniero Jay Wright Forrester desde múltiples ópticas.

Se ha utilizado una concepción metateórica kuhniana para abordar una línea histórica que ha mostrado cómo la Teoría de Sistemas Dinámicos, matriz disciplinar que Forrester introdujo en el *management* a mediados del Siglo XX, proveyó nuevos y sofisticados modelos que permitieron dar cuenta de sistemas más amplios y más complejos en forma más progresiva. El modelo *World2* de Forrester, primer modelo global de amplia difusión, fue presentado de esta forma como un ejemplar de dicha matriz disciplinar.

También se ha situado, mediante otra línea histórica, a los modelos globales como parte de una serie amplia de simulaciones en economía, producto de los avances en dicha ciencia y en matemáticas, yuxtapuestos a los avances tecnológicos en computación digital y *software*. Matrices disciplinares varias nacieron dentro de la economía para dar cuenta mediante simulaciones computacionales de distintos aspectos de los sistemas económicos, siendo la Teoría de Sistemas Dinámicos una más de ellas. Se verá en el próximo capítulo que otros modelos globales fueron desarrollados bajo otras matrices disciplinares, y por ende tienen características particulares aunque se propongan modelar el mismo sistema *target* (la economía del mundo como un todo).

Finalmente, también se ha dado cuenta de la cosmovisión ecologista del modelo de Forrester, siendo dicho trabajo situado en un clima de época donde múltiples descubrimientos científicos, ensayos académicos, y obras de ficción, se popularizaron alertando sobre los peligros que las actividades antropogénicas acarrearán sobre el medioambiente.

Este capítulo histórico se ha enfocado en definitiva en delinear el paisaje científico, tecnológico y social que llevó a la creación de los modelos globales. El próximo capítulo se ocupará de esbozar una historia de los demás modelos globales relevantes en la década de 1970. Dado que el contexto de su surgimiento ya ha sido delineado, se dedicará más espacio a especificar las características técnicas de cada modelo, la cosmovisión de los modeladores y las distintas polémicas surgidas, colocando el foco analítico en los intercambios entre el

grupo Meadows y el grupo Bariloche, que será objeto central del cuarto capítulo de este trabajo de tesis. Todo este preludio será de utilidad para proceder a los particulares epistemológicos en los capítulos posteriores.

Capítulo 3: Auge, Decadencia y Actualidad de los Modelos Globales

3.1: Introducción

En el capítulo anterior de la tesis se procedió a analizar los hechos que sirvieron de contexto al surgimiento de los modelos globales. El foco central se realizó sobre el primer modelo importante, el *World2* de Jay Forrester. El mismo resultó paradigmático y fue ampliamente difundido. *World Dynamics*, de 1971 (ver Forrester, 1973), vendió más de 100.000 copias, número impensado para una publicación de bajo presupuesto destinado a un público técnico y colmado de ecuaciones y formalismos varios (Bardi, 2011).

Sin embargo, cabe mencionar que el carácter de *World2* fue más bien exploratorio, siendo su continuación, el modelo *World3* publicado en *Limits to Growth* (Meadows *et al.* 1972) el modelo global más ampliamente difundido y discutido de la historia. Tal fue el impacto de la obra del grupo Meadows que múltiples actores académicos de gran reputación se volcaron hacia los modelos globales, ya sea para apoyarlos o criticarlos. Muchos organismos de estado y supraestatales como la ONU observaron con atención las discusiones y financiaron la creación de distintos modelos globales, dando la base para el auge de la herramienta en cuestión. Este capítulo será destinado a estudiar la sucesión de hechos históricos que ocurrieron en torno a la actividad modelística en los años 70, época dorada del modelado global, y se analizará asimismo las características técnicas y metodológicas de los principales modelos surgidos. Así pues, se sentarán las bases históricas para que en el próximo capítulo se proceda a investigar la polémica más relevante de este trabajo de tesis. Se trata de la fuerte controversia acaecida entre el grupo Meadows del MIT y el grupo Bariloche comandado por el científico argentino Amílcar Herrera.

La actividad académica fue tan intensa por aquellos años que se generó un Instituto Internacional (el IIASA, *International Institute for Applied Systems Analysis*) para nuclear a los investigadores de la nueva disciplina del modelado global, generando distintos encuentros entre los grupos de científicos y tecnólogos del área. La conferencia del año 1982 fue clave para comprender el estado del arte luego de la primer década de los modelos globales, y por tanto se hará foco en los resultados de este encuentro, cuyas actas fueron publicadas en Meadows *et al.* (1982).

Pero desde mediados de los años 80s y hacia adelante, los modelos globales fueron abandonados, excepto por actualizaciones de algunos de los modelos clásicos como *World3* (Meadows *et al.*, 1992, 2004) o el Modelo Mundial Latinoamericano (Herrera *et al.* 2004), y

algunos modelos econométricos de poca trascendencia. Se dedicará una sección de este capítulo a explorar los motivos y el contexto histórico de dicho proceso de decadencia.

Finalmente, se hará un repaso por la literatura de los últimos años acerca de la temática, para sostener la tesis de que los modelos globales están siendo reinstalados en el eje de las discusiones académicas en torno a cómo las herramientas informáticas de este tipo pueden asistir a la planificación política en la toma de decisiones a mediano y largo plazo.

3.2. De *World2* a *World3*

3.2.1 Introducción

La exitosa matriz disciplinar del ingeniero Jay Wright Forrester, la Teoría de Sistemas Dinámicos, proveyó su ejemplar más resonante en el modelo *World2*, publicado en 1971 en el libro *World Dynamics* (Forrester, 1973). Se ha hecho mención anteriormente en este trabajo de tesis de la enorme repercusión de este trabajo, el cual apuntaba a un público técnico y sin embargo vendió más de 100.000 copias, siendo objeto de notas de actualidad en revistas de divulgación e interés general (desde el *Wall Street Journal* hasta *Playboy*). También se mencionó que existió reticencia desde ciertos sectores de la academia hacia el trabajo de Forrester, siendo paradigmática la reseña bibliográfica del experto en simulaciones en economía Martin Shubik en la revista *Science* (1971) “¿Para qué es este libro? Su contenido de ciencia del comportamiento es virtualmente cero” (pp. 1014).

Más allá de la enorme relevancia y resonancia de *World Dynamics*, no cabe duda de que se trató de un trabajo de carácter exploratorio. El propio Forrester lo explicó en el prólogo a dicha obra:

El modelo dinámico de las interacciones mundiales descritas en este libro fue inventado en la primera parte de Julio para formar la base para la discusión en la conferencia [sobre la Teoría de Sistemas Dinámicos para el Club de Roma, en el MIT, en Julio de 1971]. Debe considerarse un esfuerzo preliminar. Pero todos los modelos serán tentativos, ya que nuevos conocimientos aparecerán. Porque un modelo realmente acabado del sistema mundial es poco probable que aparezca alguna vez, y debido al amplio interés que ha sido expresado en este esfuerzo, parece apropiado presentar los presupuestos e implicaciones en este libro. (Forrester, 1973, p. 6).

Se ha visto en el capítulo anterior que según Bardi (2011), Forrester construyó *World1* en el vuelo de regreso de Roma a Boston. Ahora puede notarse de esta cita reciente que *World2* fue creado en unos 20 días. El carácter exploratorio resulta más evidente a partir de esta mención. Sin

embargo, a pesar de lo precario de su estructura (la cual será explorada en detalle mediante una reconstrucción racional mediante las herramientas metateóricas estructuralistas en el capítulo 7), el modelo fue exitoso en atraer a un gran público a la herramienta y sobre todo para convencer al Club de Roma de sus bondades y de la necesidad de que un equipo interdisciplinario trabaje fuertemente en *World3*, su sucesor. Pero Forrester, curiosamente, no estaba dispuesto a encaminarse a esta titánica tarea, por lo que decidió delegar el trabajo a alguno de sus discípulos de la Sloan School of Management del MIT. El único de ellos que no estaba completamente abrumado con proyectos era Dennis Meadows, en ese entonces un joven de 28 años recién graduado como Doctor en Administración de Sistemas.

Meadows, siguiendo los consejos del director del Club de Roma, Aurelio Peccei, aplicó exitosamente a un subsidio de financiación de la Fundación Volkswagen, y se encaminó a reunir al equipo de trabajo interdisciplinario que lo acompañaría en la creación de *World3*. Dieciséis expertos internacionales fueron reunidos en el MIT para aportar al proyecto común desde áreas como polución, agricultura, demografía, ecología, recursos, política y otros. Entre éstos se encontraban Williams Behrens III, Jorgen Randers y la esposa de Dennis, la bióloga Donella Meadows. Estos serían los autores del libro *Limits to Growth* (1972), creado con el fin de divulgar a un público no técnico las conclusiones surgidas de trabajar con el modelo *World3*. *Limits to Growth* fue traducido a 23 idiomas y vendió millones de copias.

Claramente, el peso de este último trabajo fue muy superior al exploratorio de Forrester, y fue el que generó más loas y críticas. Sin duda, se trata del modelo global más paradigmático, a pesar de tener una estructura bastante similar (aunque más compleja y detallada), utilizar el mismo lenguaje de programación (DYNAMO) y la misma matriz disciplinar (la Teoría de Sistemas Dinámicos) y llegar a conclusiones idénticas a las de su antecesor. Un trabajo ligeramente posterior, *Dynamics of Growth in a Finite World* (Meadows et al., 1974) se publicó destinado al público académico, conteniendo los detalles técnicos de *World3*.

El prestigioso economista del MIT Robert Townsend comentó sobre *Limits to Growth*:

Limits to Growth ha hecho que el fin del mundo forme parte de los titulares. Sus olas de choque han causado que nuestros presupuestos más queridos se estrellaran. Es un libro que solo podemos ignorar a nuestro riesgo.

Si este libro no explota en el cerebro de todos los que lo puedan leer (...) entonces la tierra está acabada. (Bardi, 2011, p. 49)

3.2.2 Las críticas

No todas las críticas serían positivas como la de Townsend. Un aluvión negativo cayó sobre los autores y el proyecto. Muchos de los comentarios peyorativos tuvieron que ver con reacciones “viscerales” hacia el pesimismo neomalthusiano de las conclusiones arribadas. Según *Limits to Growth*, si no se tomaran medidas específicas para paliar una crisis de crecimiento:

El alimento, la producción industrial y la población crecerían exponencialmente hasta que la rápida disminución de la base de recursos fuerce una ralentización en el crecimiento industrial. Debido a los retardos naturales del sistema, tanto la población como la polución continuarían incrementándose por algún tiempo luego del pico de industrialización. El crecimiento poblacional finalmente se detendría por el aumento de la tasa de mortalidad debido a la caída en la producción de alimentos y de servicios médicos (Meadows *et al.*, 1972, p. 124).

Sin embargo, los autores aclararon que:

Un propósito importante para construir un modelo mundial ha sido determinar cuál (...) sería el modo de comportamiento más característico del sistema mundial a medida que alcance los límites al crecimiento. Este proceso de determinar modos de comportamiento es “predicción” sólo en el sentido más limitado del término. Los gráficos de salida reproducidos en el libro muestran valores para población mundial, capital y otras variables en una escala temporal que comienza en el año 1900 y continúa hasta el 2100. Estos gráficos no son predicciones exactas de los valores de las variables en ningún año particular en el futuro. Sólo son indicaciones de las tendencias del comportamiento del sistema (*id.*, pp. 92-93).

Y más adelante:

¿Puede algo aprenderse de un modelo tan altamente agregado? ¿Pueden sus salidas considerarse significativas? En términos de predicciones exactas, la salida no es significativa. No podemos predecir la población precisa de Estados Unidos ni el PBI de Brasil ni el total de producción de alimentos en el 2015. Los datos que tenemos para trabajar son ciertamente insuficientes para realizar tales predicciones, incluso si fuera nuestro propósito hacerlo (*id.*, p. 94).

Queda claro que si bien *World3* es un modelo predictivo, su intencionalidad es la búsqueda de tendencias de comportamiento y no de valores exactos de las variables analizadas, en una actitud compatible a la que el propio Forrester mantuvo en *World Dynamics* e incluso en su antecesor *Industrial Dynamics*, como las citas volcadas en el capítulo anterior de este trabajo de tesis revelan. Señalar esto basta para que ataques como los efectuados por críticos al modelo como Passel *et al.* (1972) o Bailey (1989) (publicadas por cierto en revistas no-académicas: *New York Times* y *Forbes* respectivamente) carezcan de sentido. Ambos artículos plantean que las predicciones de *World3* no

serían realistas por la falta de detalle de los modelos, y que por ende había un tono catastrofista exagerado e injustificado en las conclusiones alcanzadas. ¿Acaso han ignorado estos críticos los párrafos citados aquí? Puede que el conflicto tenga que ver con el tono apocalíptico de la contratapa de la edición de 1972 de *Limits to Growth* de Universe Books:

¿Será este el mundo por el que sus nietos le agradecerán? Un mundo donde la producción industrial se ha hundido hasta cero. Donde la población ha sufrido un declive catastrófico. Donde el aire, mar y tierra están contaminados más allá de la redención. Donde la civilización es un recuerdo distante. Este es el mundo que la computadora predice¹ (*id.*, contratapa).

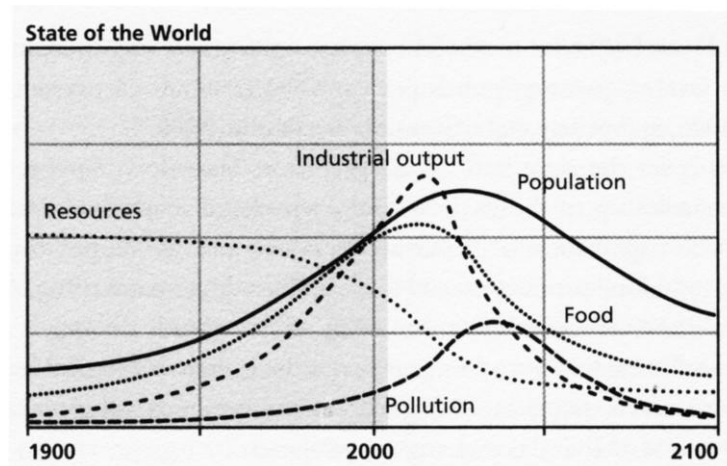


Fig. 3.1.: Gráfico de la corrida estándar de *World3*. (http://www.anticapitalistes.net/IMG/jpg_Escenari_estandar_1.jpg)

Puede notarse una marcada contradicción entre el tono moderado utilizado por los autores en el cuerpo de su trabajo y el tono catastrofista propuesto en la contratapa. No resulta desdeñable la posibilidad de que gran parte de las críticas efectuadas sobre el aspecto pesimista de *Limits to Growth* tenga que ver con este detalle particular.

Por supuesto, no todas las críticas recayeron únicamente sobre este aspecto. El *Science Policy Research Unit (SPRU)* de la Universidad de Sussex preparó un resonante informe titulado *Models of Doom* (Cole *et al.*, 1973) sobre *Limits to Growth*, publicado en Estados Unidos por la misma editorial que había publicado el controvertido trabajo de los Meadows: Universe Books. En *Models of Doom* distintos autores atacaron en cada capítulo diferentes aspectos de *Limits to Growth*. Algunos capítulos resultan algo ingenuos, como bien señala Ugo Bardi (2011). La idea de conquistar el desierto de Australia reemplazando la flora autóctona con cultivos propuesta por Pavitt & Marstrand resultó en un colapso por desalinización e inundaciones (ver Pointing, 2007), mientras William Page sugirió en su informe buscar recursos minerales en profundidades de la corteza

¹Agradezco al Dr. Rodrigo Castro, por señalar este detalle en comunicación personal.

terrestre entre 25 y 40 millas (es decir, entre 40 y 65 km en el subsuelo, algo que ni siquiera la explotación petrolífera puede lograr con la tecnología actual). Otros capítulos de *Models of Doom* resultaron más relevantes. Por ejemplo Surrey & Broomley expusieron acertadamente los desaciertos de *Limits to Growth* sobre reservas de combustibles fósiles.

Un capítulo particularmente interesante fue el de Cole & Curnow, un físico y un matemático respectivamente. Estos autores atacaron la médula del trabajo del equipo Meadows: al modelo *World3*. Bardi (2011) señaló algunos errores del análisis de estos autores, como afirmar equivocadamente que si los modelos *World* hubiesen sido corridos desde años anteriores a 1900 habrían pronosticado la crisis antes (lo cual demuestra que los críticos del SPRU no comprendían en ese momento la lógica de la simulación). En este capítulo también se denunció un error en los modelos, que es que arrojan valores erróneos al ser corridos hacia atrás en el tiempo. Dado que no fueron diseñados para correr hacia atrás (es decir, no pueden realizar “retrodicciones” con ellos debido a limitaciones de programación) esta afirmación, si bien correcta, no resulta relevante.

Pero hay algo que Cole & Curnow señalaron en su capítulo de *Models of Doom* que resulta de una importancia enorme: los modelos globales, según estos autores, no serían posibles de validar. Ugo Bardi, miembro del Club de Roma y por ende defensor de los modelos *World*, afirmó que lo señalado por estos autores era un problema idiosincrático: un físico como Cole tendería necesariamente a pensar que validar un modelo es verificar que los valores medidos en un sistema *target* coincidan con los valores calculados por la simulación (es decir, que la única manera de validar una simulación sería la “validación por correspondencia de eventos”. Más adelante en este trabajo de tesis se realizará un análisis profundo de esta noción). Siendo el sistema mundial representado por los modelos Forrester/Meadows un sistema complejo, de relaciones no-lineales y evolución permanente, Cole pensaría que cualquier modelo de dicho sistema sería fútil (más aún con la poca disponibilidad de datos medidos con precisión).

En defensa de sus correligionarios, Bardi utilizó una cita de John Sterman (2002):

Dado que todos los modelos son incorrectos, rechazamos la noción de que los modelos puedan ser validados en el sentido de la definición de diccionario de “establecer veracidad”, sino más bien nos enfocamos en crear modelos que son útiles en el proceso de testeo, en la comparación continua del modelo contra todos los datos de todos los tipos y en la iteración continua entre los experimentos con el mundo virtual del modelo y los experimentos en el mundo real. Afirmamos que enfocarse en el proceso de modelado más que en los resultados de cualquier modelo particular acelera el aprendizaje y lleva a mejores modelos, mejores políticas y mayores oportunidades de implementación y mejora del sistema (en Bardi, 2011, p. 53).

Si bien puede acordarse con el espíritu general de la cita de Sterman, no se desprende como

corolario de ella que los modelos no deban validarse. Es imposible (y sería imprudente) que un modelo creado para asistir en la toma de decisiones políticas sea utilizado con ese fin si no ha sido previamente validado, aunque fuese en forma parcial. Por ende la estrategia de Bardi de anular el argumento de Cole & Curnow alegando que lo correcto es enfocarse “en los procesos de modelado más que en los resultados de cualquier modelo” resulta insuficiente. La validación de modelos globales ha causado muchos problemas sobre los que los modeladores han discutido profundamente, y su importancia es crítica, por lo que se hará foco en la cuestión más adelante en este trabajo de tesis.

Un crítica violenta sobre *World Dynamics* pero que impactaba fuertemente en *Limits to Growth* fue el trabajo del importante economista del MIT William Nordhaus, *World Dynamics, Measurement Without Data* (1973). Allí, más allá de afirmaciones *ad hominem* insustanciales como que Forrester carecería de humildad por realizar un modelo tan ambicioso, lo más importante es el ataque contra el poco rigor en la selección de variables: Nordhaus denunció que ninguna variable o relación en *World2* fue derivada de estudios empíricos. Esto, más que un ataque al propio modelo es un ataque a la matriz disciplinar. La Teoría de Sistemas Dinámicos plantea sus relaciones a través del estudio de los niveles, tasas de flujo y *delays* y no a través de correlaciones empíricas como lo hace la econometría. Además, las constantes de *World2* y su continuación sí surgen de distintas mediciones empíricas, por lo que el análisis de Nordhaus resulta poco fundado, como afirma el mismo Bardi (2011). Por otro lado, Nordhaus mostró la divergencia entre algunos datos empíricos y su ecuación característica dentro de *World2*, cometiendo el gravísimo error de graficar las ecuaciones aisladas en vez de graficar las salidas de la simulación (es decir, considerando todas las variables que actúan en el sistema al mismo tiempo). Forrester *et al.* (1974) señaló el craso error cometido por su colega del MIT:

(...) Nordhaus incorrectamente compara una relación monodimensional en *World Dynamics* (entre la tasa de natalidad neta y el estándar de vida material) con datos de una serie temporal. Al hacer esto, falla en dar cuenta de la presencia de otras variables que influyen la serie temporal. Como resultado, erróneamente afirma que el modelo es inconsistente con los datos. De hecho, los datos que Nordhaus presenta soportan la validez de los presupuestos de *World Dynamics*. (p. 171).

Existen muchos más trabajos a favor y en contra de los modelos *World2* y *World3* y aún hoy siguen apareciendo. Se verán algunos de los más recientes más adelante. Pero se reservará para el próximo capítulo el análisis del trabajo sobre dichos modelos efectuado por el matemático argentino y miembro del Grupo Bariloche Hugo Scolnik, probablemente el más incisivo en contra de los modelos globales del MIT.

3.3 El Modelo Bariloche

3.3.1 Introducción

Anteriormente a la publicación de *Limits to Growth*, el Club de Roma publicitaba por el mundo a su nueva estrella, el modelo *World3*. Aquí había potencialidad para cambiar la realidad por completo: académicos de prestigio, tecnología de punta y buenas intenciones parecían haberse combinado en un cóctel poderoso, lo cual sumado al contexto de preocupación medioambiental que se ha expuesto en el capítulo anterior de este trabajo de tesis, parecía ser suficiente para convencer a cualquiera de las bondades del producto. Se organizaron conferencias en distintos países, algunas con mejor recepción que otras. Resultó muy importante una reunión ocurrida en Río de Janeiro en 1972, donde se presentó la herramienta a los académicos sudamericanos, coordinada en conjunto por el Club de Roma y el Instituto Universitario Pesquisas de Río.

Un grupo de científicos argentinos de diversas raigambres teóricas se reunió luego de escuchar la conferencia en cuestión. Por un lado, tenían serios cuestionamientos al modelo que acababa de presentárseles. Aunque por otro lado, les resultaba pertinente el uso de simulaciones para dar cuenta sistémica y formalmente del mundo, como herramienta de planificación política. Así, decidieron que *World3* merecía una respuesta desde el Sur. Le llamarían Modelo Mundial Latinoamericano, y sería realizado poco tiempo después en la Fundación Bariloche, centro de trabajo interdisciplinario creado en 1963 con el fin de promover la libertad académica y la transferencia de conocimiento a la sociedad. El nombre del centro donde se realizó el trabajo fue poco a poco reemplazando al nombre del modelo, siendo actualmente conocido por muchos como “Modelo Bariloche”. El líder del grupo de modeladores sería Amílcar Herrera.

3.3.2 La icónica figura de Amílcar Herrera

Herrera era un geólogo argentino, formado en la facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires y en Estados Unidos. Sin embargo, su interés no se limitó a dicha disciplina, abordando también estudios de planificación política, científica y tecnológica. Como académico fue muy importante en todo el mundo, razón por la cual una vez obligado a exiliarse por los gobiernos de facto de Onganía primero y Videla después, fue convocado por la Universidad de Campinas en Brasil y posteriormente por la *Social Policy Research Unit (SPRU)* de la Universidad

de Sussex en Inglaterra. Ya se ha mencionado la importancia de este centro como crítico de los modelos *World2/3*.

Uno de los textos paradigmáticos de Amílcar Herrera fue *Ciencia y política en América Latina* de 1971 (ver Herrera, 2015). Allí describió su visión de la cuestión del desarrollo científico y tecnológico de la región sur y delineó una estrategia a seguir para conseguir salir de su relegada situación social histórica: con ideas propias, autónomas, lejos de la imitación de los perfiles de desarrollo del primer mundo. Es esta línea de pensamiento la razón por la que se suele incluir a Herrera en una tríada de autores argentinos con una concepción independentista de la ciencia y tecnología, junto a Oscar Varsavsky (quien, como se mencionase en el capítulo anterior, también había explorado la cuestión de las simulaciones para planificación política) y Jorge Sábato (quien también había participado originalmente de la planificación del proyecto del Modelo Bariloche).

El rol de Herrera fue fundamental coordinando a los modeladores en la compleja tarea de modelar el sistema mundo desde disciplinas tan diversas como las matemáticas, la ecología, la economía, la salud, la urbanización e incluso la educación. Murió en el año 1995, siendo recordado como uno de los científicos más importantes en el pensamiento argentino.

3.3.3 Características técnicas y metodológicas del Modelo Bariloche

Los participantes de la mítica presentación de *World3* en Río observaron críticamente los siguientes puntos en el modelo del MIT:

- a) Las predicciones basadas en la extrapolación de arreglos estructurales presentes en el modelo global no es interesante; lo que debería examinarse es el potencial para cambios fundamentales en valores e instituciones.
- b) La visión que señala que la crisis global ocurrirá en el futuro refleja una perspectiva estrecha propia del mundo desarrollado. Para dos tercios de la población del mundo, las crisis por recursos escasos, vivienda inadecuada, condiciones deplorables de salud y hambre ya están a mano.
- c) Políticas orientadas hacia el logro de un “estado de equilibrio global” en el futuro cercano asegurarán que las presentes inequidades y disparidades del mundo global se perpetúen. (Meadows *et al.* (1982), p. 45).

El Modelo Bariloche sería entonces concebido de manera completamente distinta a *World3*. No se trata de un modelo descriptivo que señala lo que ocurrirá en el mundo si determinadas variables actúan de tal o cual manera. Se trata de un modelo normativo que propone un mundo “objetivo” (*target*) ideal y se estudia mediante la técnica matemática de optimización si es

fácticamente posible alcanzar dentro de un horizonte de tiempo determinado dicho objetivo mediante la manipulación de las variables relevantes.

El mundo objetivo propuesto cumple esencialmente con estas premisas:

- (i) En primer lugar, se establece que la meta final perseguida es *una sociedad igualitaria, tanto social como internacionalmente*. Su principio básico lo constituye el reconocimiento de que cada ser humano por el solo hecho de existir tiene derechos inalienables a la satisfacción de las necesidades básicas de alimentación, vivienda, salud y educación esenciales para su completa y activa incorporación a su cultura. (...)
- (ii) La sociedad propuesta en el modelo es una sociedad no *consumista, donde la producción está determinada por las necesidades sociales y no por la ganancia*. Uno de sus rasgos esenciales consiste en que el consumo no es un valor *per sé*. (...)

En la sociedad propuesta, si bien se supone la libre expresión de las necesidades y aspiraciones de cada ser humano, las decisiones se canalizan a través de mecanismos de acción colectiva que comienzan en los lugares de participación más directa las organizaciones productivas y de servicios en sentido amplio y según sus implicaciones sobre el conjunto de la comunidad, se discuten y deciden a distintos niveles de la organización política y social. (...)

- (iii) Finalmente *en toda sociedad, la función de la propiedad constituye uno de los elementos claves*. ¿Qué características tiene la propiedad en el mundo que describe el modelo?

Es evidente que en el tipo de sociedad aquí propuesto, el concepto de propiedad carece en gran parte de sentido. No se trata solamente de que no existe apropiación privada de la tierra y de los bienes de producción, sino que tampoco existe estatización de los mismos, como se da actualmente en muchos estados con economías centralmente planificadas.

El concepto corriente de propiedad debe ser reemplazado por el más universal de uso de los bienes de producción y de la tierra. No existiría propiedad de estos bienes, sino gestión de los mismos, decidida y organizada por los mismos procesos de discusión mediante los cuales se regula el resto de las actividades sociales. La gestión correspondería a las organizaciones de producción, a entes comunitarios *ad hoc*, a las comunas o al estado, según fuera la naturaleza y el nivel de la actividad considerada. (Herrera *et al.* (2004), pp. 41-42, énfasis en el original)

Puede notarse la impronta ideológica en la descripción del mundo objetivo del modelo, coincidente con algunos conceptos expresados por Herrera en 1971 en su clásico *Ciencia y Política en América Latina* (2015) y por Oscar Varsavsky en varias de sus obras, especialmente en *Proyectos Nacionales* (1971).

El mundo no se considera en el modelo como un todo sino que se divide en regiones de similitud geográfica y estructural, de modo de poder analizar la viabilidad de alcanzar los valores de variables objetivo en forma regional y también realizar corridas de exploración habilitando intercambios interregionales.

Un presupuesto fundamental del modelo era que no existía peligro de que se agotaran los recursos naturales, sino que los problemas básicos de la humanidad son de orden político y distributivo. Sobre el problema demográfico, dicen los autores que

(...) si bien en los países donde se produjo un descenso de la fertilidad es difícil diferenciar los efectos de la campaña de planificación familiar de aquellos derivados del mejoramiento de las condiciones de vida, parece evidente que este último es, por lo menos, el prerrequisito indispensable para que la primera tenga posibilidad de éxito. La evidencia histórica y la evolución demográfica en los países que acaban de mencionarse, sugieren que el mejoramiento de las condiciones generales de bienestar es el factor más importante en el descenso de la fertilidad (p. 63)

El funcionamiento del modelo Bariloche consiste en asignar recursos (capital y trabajo) representados por funciones de producción tipo Cobb-Douglas² hacia distintos sectores que los requieren (vivienda, educación, producción de alimentos, bienes de capital y otros bienes) utilizando la técnica matemática de optimización diseñada por George Dantzig en 1939. La técnica de optimización consiste en proponer algoritmos que seleccionan alguna variable mediante algún criterio. Los modeladores de Bariloche tomaron como la variable principal a optimizar (es decir aquella que la asignación de recursos tiende a tratar de maximizar) la “esperanza de vida al nacer” (EVN). Puede notarse que este criterio de planificación política es muy diferente a la concepción clásica de la economía que considera que lo más importante a maximizar es el Producto Bruto Interno de los países, bajo el supuesto de que el crecimiento económico es la condición necesaria para mejorar todas las demás variables.

El motivo por el cual la EVN fue considerada la variable fundamental a maximizar en la planificación política, según los creadores del modelo Latinoamericano, fue que los datos disponibles (tomados de la Organización de las Naciones Unidas) señalaban una relación muy estrecha entre este índice y todas las variables de bienestar. Señalaron Herrera *et al.* (2004):

El PBN [Producto Bruto Nacional], que es el indicador cuyo empleo más se ha generalizado en la planificación económica, ha sido objeto de severas críticas en los últimos años. La satisfacción de las necesidades básicas parece un criterio de optimización mucho más acorde con los objetivos del modelo. Sin embargo, teniendo en cuenta que esas necesidades son de naturaleza muy distinta entre sí, y que el esfuerzo social requerido para satisfacerlas es también diferente en cada caso, se presenta un problema importante: ¿cuál es el criterio para establecer prioridades entre ellas, en el período en que todavía se está por debajo de los niveles de satisfacción buscados?

² Familia de funciones matemáticas que plantean la producción de un determinado producto como una función del trabajo, la tecnología y el capital. Ver Douglas (1976).

Para resolver este problema es necesario evaluar el efecto que sobre la población ejercen distintas alternativas en la asignación de recursos a cada uno de los sectores de necesidades básicas. Este mecanismo objetivo de evaluación se obtiene optimizando la esperanza de vida al nacer.

Las razones que finalmente llevaron a ello se refieren tanto a su significado como indicador del nivel de bienestar de la población, como a sus ventajas desde el punto de vista operativo.

Por su significado, la esperanza de vida al nacer constituye sin duda el indicador que mejor refleja en cualquier país las condiciones generales de vida de la población. Su valor es una función del estado de satisfacción de las necesidades básicas y de otros elementos, tales como la urbanización, que más directamente afectan la vida de los miembros de la comunidad.

Además, la esperanza de vida mide el grado en que una sociedad permite a sus miembros alcanzar uno de sus derechos esenciales: vivir una vida tan prolongada como sea biológicamente posible. Este es un derecho absoluto que ninguna sociedad puede ignorar. La sociedad puede regular en gran medida la forma como sus integrantes ordenan su vida, pero el derecho a ésta es un atributo inalienable de cada ser humano.

Las ventajas operativas de optimizar la esperanza de vida al nacer, resultan obvias (...). Se trata de una variable que es función de factores socioeconómicos y que proporcionará una medida de bienestar usada durante las corridas del modelo para asignar recursos entre sectores. (p. 64)

Además de maximizar el EVN, el Modelo Mundial Latinoamericano contiene restricciones propias de las formulaciones del modelo económico y de consideraciones socioeconómicas varias.

La principal [restricción] (...) consiste en asegurar que el nivel de satisfacción de cualquiera de las necesidades básicas no puede, en ningún año, ser inferior al año anterior. Varios otros controles, introducidos bajo la forma de restricciones, permiten que el modelo pueda adaptarse a situaciones cambiantes, calculando en cada caso la estrategia a seguir. Cuando no pueden cumplirse todas las restricciones, el mecanismo de optimización sacrifica uno o más objetivos, de acuerdo con un orden de prioridades predeterminado. (p. 59)

Como resultado de las corridas de simulación y su posterior análisis, los autores concluyeron que se confirmaba la hipótesis inicial: los problemas del mundo serían mayoritariamente de índole política y sería posible y viable alcanzar el mundo deseado, si se trabajase en la dirección adecuada, hacia el año 2060, no existiendo restricciones significativas de orden físico-natural. Sin embargo previeron que la región asiática sería la más complicada y sus variables, sin ayuda de las otras regiones, podrían no alcanzar el estándar deseado por problemas estructurales agravados por su enorme crecimiento demográfico.

El Modelo Bariloche fue muy bien ponderado por la ONU, especialmente por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), dependiente de esta. Se mencionó en Meadows *et al.* (1982) que “Entre los científicos y decisores del tercer mundo, así como entre aquellos involucrados con el enfoque al desarrollo de las “necesidades básicas”, el modelo Bariloche es por lejos el más popular de los principales modelos globales” (p. 46).

El modelo fue ampliado en 1976 a pedido de la OIT, siendo utilizado para desarrollar informes por parte de esta organización internacional. En ese mismo año, debido al brutal golpe de estado comandado por Jorge Rafael Videla, los modeladores se exiliaron y el proyecto continuó bajo la dirección del matemático Hugo Scolnik en la Universidad Cándido Méndez en Brasil durante dos años. En 1979 cesó definitivamente toda la actividad del grupo, aunque Scolnik y su equipo colaboraron con el Simposio del IIASA de 1982 (ninguno de los miembros de ese equipo, excepto el líder Scolnik, formaron parte del colectivo de modeladores original). Recién en 2004 volvería a reeditarse *Catástrofe o Nueva Sociedad*, el clásico del equipo comandado por Amílcar Herrera. Afortunadamente, el Dr. Rodrigo Castro ha procedido a trabajar recientemente en reeditar el modelo computacional, que se hallaba perdido, mediante técnicas de programación modernas, con la tutela del propio Hugo Scolnik y del ecólogo original del equipo Bariloche, el Dr. Gilberto Gallopín³.

3.4 Otros Modelos Globales Importantes

3.4.1 *World Integrated Model*

Mihajlo Mesarovic es un importante investigador de origen serbio, nacido en el año 1928. Graduado como ingeniero eléctrico en la Universidad de Belgrado y con un Ph. D. en Ciencias Técnicas de la Academia de Ciencias y Artes de Serbia. Sostuvo posiciones académicas importantes en el Instituto Nikola Tesla de Belgrado, en la Universidad de Belgrado y luego en el MIT y la Case Western University, además de haber sido asesor de varios gobiernos, de la UNESCO y de ser miembro del Club de Roma. Mesarovic es considerado el padre de algunas matrices disciplinares de las matemáticas, como la Teoría matemática de la Coordinación, el Sistema de Soporte a la Negociación y la Teoría de Sistemas Jerárquicos Multi-Nivel, esta última inaugurada con la publicación del clásico *Theory of Hierarchical, Multilevel, Systems* (Mesarovic *et al.*, 1970).

Esta teoría matemática de sistemas tiene la virtud de brindar la posibilidad de descomponer analíticamente un gran sistema en un conjunto de subsistemas más pequeños y fáciles de analizar, pero teniendo en cuenta el hecho de que existe una organización jerárquica con coordinación y controles para el intercambio de información entre los sistemas. La matriz disciplinar de Mesarovic permite dar cuenta de este hecho matemáticamente con lo cual sistemas muy complejos pueden comprenderse y representarse con cierta precisión y sencillez.

³En comunicación personal con los tres investigadores (2015).

En 1972 Dennis Meadows organizó una serie de seminarios en el MIT, donde Mesarovic presentó su Teoría de Sistemas Jerárquicos Multi-Nivel. Presente en dicha conferencia se encontraba el académico alemán, también miembro del Club de Roma, Eduard Pestel. Este era diseñador industrial y economista de la Universidad de Hannover, además de militante del partido Demócrata Cristiano de Alemania Occidental y asesor científico de la OTAN. En la conferencia, Mesarovic presentó algunos ejemplares potenciales donde aplicar su matriz disciplinar, resaltando su uso posible para trabajar sobre problemas del *management* urbano y de administración de recursos naturales. Para ese momento, algunos líderes del Club de Roma, Pestel entre ellos, ya estaban planificando publicar una continuación a *Limits to Growth* tomando en consideración las respuestas (positivas y negativas) ya efectuadas hacia este trabajo.

El nuevo modelo global debía ser distinto a *World3*, en los siguientes puntos:

- a) El sistema mundo debía representarse como un sistema de regiones interdependientes, es decir, en este modelo el mundo debía separarse en regiones.
- b) El enfoque del trabajo debía ser el desarrollo de recomendaciones que poseyeran relevancia política directa, por lo que el modelo debe permitir al usuario explorar en forma sencilla y flexible distintas políticas posibles a aplicar en el sistema.
- c) Debían incorporarse datos duros tanto como teorías de disciplinas relevantes en forma más explícita.

Se había decidido que el nuevo modelo no debía ser llevado a cabo por los responsables de los modelos *World*, por la desconfianza que algunos círculos académicos tenían hacia la Teoría de Sistemas Dinámicos de Forrester y para alejar las acusaciones de preconcepciones neomalthusianas que pesaban sobre el equipo Meadows (Meadows *et al.* 1982). La matriz disciplinar presentada por Mesarovic era ideal para crear un nuevo modelo global con los objetivos propuestos, y el Club de Roma convenció pronto al serbio de dirigir junto a Pestel el proyecto. El nombre del modelo (*World Integrated Model* o *WIM*) fue reemplazado en los círculos de expertos por el de sus directores, siendo llamado Modelo Pestel-Mesarovic en Europa, y Mesarovic-Pestel en el resto del mundo.

Dos equipos interdisciplinarios trabajaron en paralelo durante el desarrollo del modelo. En Hannover, bajo la tutela de Pestel, funcionaron los grupos de demografía, economía y medio ambiente (aunque el modelo medioambiental no fue incluido en la versión final del *WIM*), mientras en la Case Western University de Cleveland, funcionaron los grupos de energía, agricultura y comercio internacional. Además, fue en EE.UU. donde se realizó la integración de los submodelos, hecho posible gracias a la plataforma *Model Builder* de Thomas Shook, uno de los programadores bajo el mando de Mesarovic.

A fin de evitar las críticas virulentas que recibió su predecesor, los autores del *WIM* decidieron comenzar la difusión del modelo en conferencias dentro de la comunidad académica (aunque efectivamente no se difundió al propio *software* para su revisión por pares), y dejar como último paso la producción de un documento de divulgación a la comunidad de legos. La primer conferencia del IIASA sobre modelos globales, ocurrida en 1974, se dedicó a presentar el *WIM*, y ese mismo año Pestel y Mesarovic publicaron el llamado Segundo Informe al Club de Roma, titulado *Mankind at the Turning Point* (La humanidad en el punto de inflexión, Mesarovic *et al.*, 1974).

El tono académico del libro hizo que fuese mejor recibido que su predecesor en los círculos científicos, aunque su popularidad mundial fue muy inferior. Sin embargo el grupo Mesarovic trabajó fuertemente en presentaciones del modelo a funcionarios de todo el mundo y varios *papers* académicos fueron publicados en base al uso del *WIM*.

Las conclusiones a las que los autores de *Mankind at the Turning Point* arribaron a través del uso del modelo son:

a) *Acerca de la actual [de 1974] crisis global:*

1. *La crisis actual no es temporal*, sino que refleja una tendencia persistente inherente en el patrón histórico de desarrollo.
2. *La solución a esta crisis puede ser desarrollada solo en un contexto global y a largo plazo*, con un reconocimiento completo y explícito del sistema mundial emergente.
3. *Las soluciones no pueden ser alcanzadas por medios tradicionales* confinados a un aspecto aislado del sistema mundial, como la economía. Lo que realmente se necesita es nada menos que una completa integración de todos los estratos en nuestra visión jerárquica del desarrollo mundial.
4. *Es posible resolver esta crisis a través de cooperación más que confrontación*; de hecho, en la mayoría de las instancias, la cooperación es igualmente beneficiosa para todos los participantes. Los mayores obstáculos a la cooperación son las ganancias de corto plazo que pueden ser obtenidas a través de la confrontación.

b) *Cambios requeridos a nivel societal:*

1. La gente debe darse cuenta de que la *improductividad* es la consecuencia última de cualquier acción confinada solamente a consideraciones de corto plazo.
2. *La futilidad de los nacionalismos estrechos* debe ser apreciada y tomada como un axioma en el marco de la toma de decisiones. *Los problemas globales pueden ser resueltos únicamente por acción global concertada*.
3. Un marco práctico internacional debe ser desarrollado en el cual la *cooperación* esencial para la emergencia de un nuevo camino de crecimiento orgánico se vuelva un asunto de necesidad, más que algo abandonado a la buena voluntad y preferencia.

4. La gente debe darse cuenta de *la primordial importancia de la crisis global de desarrollo de largo plazo*, y estar dispuesta a situar en lo más alto de la agenda de problemas con los cuales lidiar explícitamente por los gobiernos nacionales y las organizaciones internacionales.

c) *Lecciones para la emergencia de una nueva ética global:*

1. *Una conciencia global* debe ser desarrollada a través de la cual cada individuo se concientice sobre su rol como miembro de la comunidad mundial. El hambre en el África tropical debe ser considerada como algo tan relevante y molesto a un ciudadano de Alemania como el hambre en Bavaria.

2. *Una nueva ética en el uso de los recursos materiales* debe concientizar en que resultará en un estilo de vida compatible con la era de escasez que se viene. Uno debe estar orgulloso de guardar y conservar, más que en gastar y descartar.

3. *Una actitud hacia la naturaleza debe ser desarrollada basándose en la armonía más que en la conquista.*

4. Si la especie humana sobrevivirá, el hombre debe desarrollar *un sentido de identificación con las futuras generaciones* y estar listo para intercambiar beneficios para las próximas generaciones por beneficios para sí mismo. Si cada generación buscara el máximo beneficio para sí mismo, el *homo sapiens* está condenado. (Mesarovic *et al.* 1974, pp. 143-147, énfasis en el original).

Puede notarse un tono mucho más moderado en *Mankind at the Turning Point* respecto al catastrofista *Limits to Growth*. Sin embargo, aunque más optimista y con un mensaje diplomático de colaboración internacional, mantenía una esencia similar a la de su predecesor en cuanto al preanuncio de una crisis global futura. Pero, eso sí, resultó un poco más enfático en la mención de la existencia de problemas actuales. Curiosamente, Pestel y Mesarovic no exploraron la cuestión de los límites, ni consideraron a la polución como una variable relevante en su sistema, separándose drásticamente de su predecesor en este aspecto. El énfasis estaba más bien en los recursos naturales, especialmente en el petróleo.

Scolnik (1979) manifestó cierta disconformidad respecto al hecho de que el modelo no estuvo disponible para su evaluación académica (cosa que sí había ocurrido con *World3* y con el Modelo Bariloche) por lo que muchos modeladores no pudieron acceder a él: *WIM* sólo se hallaba disponible en costosas versiones comerciales. Saavedra *et al.* (1976) publicaron un lapidario trabajo realizado sobre la base de una versión del *WIM* vendida al gobierno de Venezuela un año antes. Allí los autores denunciaron que el modelo *WIM* no utiliza realmente la Teoría de Sistemas Jerárquicos Multi-Nivel y además

La visión del mundo que estamos analizando corresponde con la de los países industrializados, algo natural debido a la composición de su equipo. Ellos identifican la crisis que amenaza la evolución del mundo desarrollado, y presentan estos aspectos coyunturales de la crisis estructural del sistema internacional como una problemática de la raza humana (de Scolnik, 1979, p. 65).

La afirmación de Saavedra *et al.* puede tener que ver con el hecho de que el *WIM* plantea como escenario futuro ideal una división del mundo en países productores de petróleo, países industrializados y países subdesarrollados, donde los países petroleros proveen a los industrializados a cambio de sus excedentes económicos, mientras estos crean industrias exportadoras intensas en capital humano en los países subdesarrollados. Esto es lo que hace varios años vienen realizando las empresas multinacionales y no parece haber impactado positivamente en el desarrollo del tercer mundo.

Por otro lado, Alker (1976) aseveró que el modelo tiende a reproducir el *statu quo*, pues tras probar varias políticas en el *WIM*, el modelo tiende a recomendar el uso de soluciones estándar no muy distintas a las típicas aplicadas internacionalmente (por ejemplo, el incremento del precio del petróleo a fin de cuidarlo en un contexto de escasez por crisis).

A pesar de estas y otras objeciones, el modelo *WIM* sigue siendo recordado como un enorme logro técnico y un hito fundamental en la historia de los modelos globales.

3.4.2 *SARUM*

El gobierno de Gran Bretaña dedicó recursos a explorar la potencialidad de los modelos globales en los años 70s. Más específicamente, lo hizo la *Systems Analysis Research Unit* (SARU) perteneciente al Departamento de Medio Ambiente, dirigido por el físico experimental Peter Roberts. Los miembros de SARU se hicieron de una gran reputación como críticos proactivos a los distintos modelos globales que iban apareciendo en la década del 70 en distintas publicaciones académicas y reuniones como las ofrecidas por el IIASA. La gran preocupación del equipo era cómo validar los modelos de modo de que sean confiables y por ende, aptos para su aplicación en la toma de decisiones políticas.

Hacia el año 1976 Roberts decidió que la mejor manera de comprender a los modelos globales era producir uno propio, por lo que el equipo SARU se encaminó a desarrollarlo: se llamaría *SARUM* (la M al final del acrónimo de la Unidad corresponde a “modelo”).

SARUM se realizó con asistencia del SPRU de la Universidad de Sussex, al cual ha sido mencionado anteriormente como uno de los más famosos críticos a *World3* por su publicación *Models of Doom* (Cole *et al.*, 1972), y por contratar a Amílcar Herrera durante su exilio.

El modelo hizo especial énfasis en utilizar las reglas estándar del comportamiento económico y también una gran cantidad de datos empíricos publicados, a fin de otorgarle el máximo de credibilidad. También se proveyó total acceso al modelo para quien quisiese probarlo y criticarlo.

Si bien *SARUM* tuvo una buena recepción general, y fue utilizado en 1979 para un proyecto de previsión de escenarios futuros por parte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la filosofía fundamentalmente exploratoria del grupo SARU llevó a que no se difundiese el modelo proporcionalmente a su valoración académica.

La base teórica de *SARUM* es la de la economía clásica, especialmente la resultante de la obra de Adam Smith, y la heterodoxa, especialmente los aportes de John Maynard Keynes, (Meadows *et al.* 1982). El método de modelado fue mixto, con una concepción similar a la aplicada por Pestel y Mesarovic en su *WIM*. Los presupuestos de los autores para el modelo fueron:

1. Los consumidores elegirán los bienes y servicios que maximicen su utilidad, dados los precios de los bienes y servicios.
2. Los empresarios seleccionarán la técnica de producción que maximice sus ganancias, dados los precios de los factores.
3. Los productores no pueden afectar los precios de los bienes que venden ajustando la salida.
4. Los productores no pueden afectar los precios de los bienes que compran ajustando la demanda.
5. El trabajo y la inversión será atraído hacia las industrias donde los salarios y ganancias sean mayores.
6. Los precios son una función inversa de los *stocks*.
7. Existe un conjunto de precios que aclarará los mercados, además de los *stocks* deseados.
8. Los consumidores comprarán más (menos) de un bien si su precio cae (sube), a menos que el bien sea “inferior”.
9. Los empresarios pueden entrar o salir de cualquier industria, dependiendo de si están ganando o perdiendo. (SARU Staff, 1977).

SARUM finalmente intenta mejorar el bienestar de los miembros de la sociedad que estén en peores condiciones sin afectar a los que están en buenas condiciones, es decir, se aplica la Optimalidad de Pareto.

El trabajo de divulgación no hizo hincapié en “conclusiones” y aunque los escenarios proyectados no consideraron catástrofes de ningún tipo, sí se enfatizó que había un presupuesto de evolución tecnológica permanente que, de no existir, hubiese conducido a predicciones algo más pesimistas.

3.4.3 *El modelo de Naciones Unidas*

Durante las décadas del 60 y 70 las Naciones Unidas abordaron cuestiones relativas al planeamiento de largo plazo como política fundamental para el desarrollo de las naciones. Los objetivos estaban bien explicitados:

- Satisfacer las necesidades básicas de la gente (en alimentación, vestimenta, vivienda, educación, salud);
- Crear mil millones de nuevos empleos en los países en vías de desarrollo para el año 2000;
- Alcanzar un mínimo de crecimiento del 4% de la producción alimenticia y agraria en los países en vías de desarrollo;
- Incrementar la participación de las economías de mercado en vías de desarrollo en la producción manufacturera al 25%;
- Reducir sustancialmente la brecha de ingresos promedio entre los países en vías de desarrollo y los desarrollados;
- Mejorar la distribución de ingresos interna de manera de acelerar la erradicación de la pobreza masiva;
- Alcanzar un nuevo orden económico internacional y sus distintos componentes, incluyendo la estabilización del comercio de *commodities*, el aumento en la transferencia tecnológica y financiera, la reducción de las barreras en el comercio de bienes manufacturados; un código de conducta para las empresas transnacionales. (Menshikov, 1977, p. 2).

La coordinación de los planes y programas para alcanzar estos ambiciosos objetivos se le otorgó a la agencia interna de la ONU llamada CDPPP (*Center for Development Planning, Projections and Policies*). Esta agencia, estimulada por las repercusiones de *Limits to Growth*, recibió fondos del gobierno holandés para iniciar un estudio sobre la economía global, uno de cuyos ejes era la cuestión medioambiental. Siendo informalmente una respuesta al libro de los Meadows, se decidió realizar un modelo global nuevo en base a los objetivos planteados por la ONU. Se contrató para dirigir el proyecto al prestigioso economista alemán Wassily Leontief, quien ya había recibido un Premio Nobel por su Teoría matemática de Entradas y Salidas (*Input/Output*).

Aportes adicionales de la Fundación Ford y la National Science Foundation permitieron que Leontief coordinara un equipo multidisciplinario que funcionó, al igual que en el caso del WIM, geográficamente disperso. En la Brandeis University el equipo de Anne Carter y Peter Petri realizó la mayor parte del modelado, recolección de datos empíricos y formulación de correlaciones estadísticas para la calibración del modelo. Oficiales de la CDPPP participaron activamente del proceso, mientras Joseph Stern de Harvard coordinó junto a Leontief (quien por esos años se había mudado de Harvard a la New York University) el trabajo de las partes. Junto a Carter y Petri finalmente escribieron el reporte de divulgación *The Future of the World Economy* (El futuro de la economía mundial, Leontief *et al.*, 1977), presentado por Petri en el IIASA en el año de su

publicación.

Podría decirse que este modelo global fue el más resonante después de *World3*, recibiendo por ejemplo, una primera plana en el *New York Times*. Este hecho no es extraño, teniendo en cuenta que se trató de un modelo de la ONU dirigido por un Premio Nobel. El modelo cubre una amplia variedad de variables económicas, e incluye una importante regionalización del sistema mundo.

Acerca del origen del trabajo y de su relación con el modelo de los Meadows afirmó Peter Petri:

El famoso estudio Meadows del Club de Roma fue, sin duda, responsable en parte por la decisión de la ONU de esponsorear este nuevo modelo global. Así, la declaración original del trabajo habló cautelosamente acerca del impacto de las preocupaciones ambientales en los objetivos de la segunda década de desarrollo [del proyecto de la ONU]. Estas preocupaciones no fueron hechas explícitas, pero obviamente se referían al crecimiento y a las dudas ampliamente extendidas acerca de la viabilidad material y la deseabilidad social del crecimiento económico a largo plazo.

Mientras el estudio tiene algo que decir acerca de la viabilidad del crecimiento (no prevé impedimentos físicos al crecimiento durante los próximos veinticinco años), no puede responder, y no fue diseñado para responder, a las muchas preguntas fundamentales efectuadas en el debate *Limits to Growth*. Más bien, su contribución principal es traer, en un sólo marco manejable, un gran cuerpo de datos acerca de la interdependencia económica, recursos naturales, agricultura, industria y medioambiente. (1977, p. 261).

El modelo posee una estructura basada en la técnica de *Input/Output* que le valiese a Leontief el Premio Nobel. El sistema mundo es dividido en 15 regiones y cada una de ellas es visualizada a través de 45 sectores representados por 175 ecuaciones simultáneas cada una. Cada región se interconecta mediante flujos de exportaciones e importaciones de bienes y capital. Se monitorean tanto los flujos materiales concretos como los valores monetarios de los mismos, lo cual representó una mejora en la facilidad de chequeo empírico de las salidas del modelo.

Las proyecciones para un dado año son independientes de las de los años anteriores, si bien hay dependencia del año base. Esta característica, según la ONU (ver Menshikov, 1980), provocaría que el modelo no fuese fructífero para estimaciones de corto y mediano plazo, ni para utilizar en combinación con modelos de optimización como el Modelo Mundial Latinoamericano. Sin embargo, la estabilidad de la estructura y su enorme grado de detalle sí lo harían ideal para funcionar como una herramienta para estudios analíticos a largo plazo, incluyendo variables como el cambio tecnológico, los patrones de consumo, la disponibilidad de recursos naturales y las relaciones internacionales entre otras.

El usuario del modelo debe alimentar con algunas condiciones iniciales al mismo, aunque en el caso de, por ejemplo, los precios, puede decidir si suplementarlas externamente o permitir a un

submodelo calcularlas automáticamente.

Las conclusiones a las que arribaron los autores tras estudiar distintos escenarios obtenidos corriendo distintos supuestos en el Modelo de las Naciones Unidas fueron:

- 1) Las tasas objetivo de crecimiento del producto bruto en las regiones en desarrollo fijadas por la Segunda Década de Desarrollo Internacional de las Naciones Unidas no son suficientes para empezar a cerrar la brecha de ingresos entre los países en vías de desarrollo y los desarrollados.
- 2) Los límites principales al crecimiento económico sostenido son políticos, sociales e institucionales en carácter. No existen barreras físicas insuperables dentro del siglo XX al desarrollo acelerado de las regiones en desarrollo.
- 3) El problema más urgente de alimentar a la rápidamente creciente población de las regiones en vías de desarrollo puede ser resuelto cultivando las enormes áreas actualmente no explotadas de tierras arables y duplicando y triplicando la productividad de la tierra. Ambas tareas son técnicamente viables, pero son contingentes de medidas drásticas de políticas públicas favorables a dicho desarrollo y de cambios sociales e institucionales en los países en vías de desarrollo.
- 4) El problema del abastecimiento de recursos minerales para el desarrollo acelerado no es un problema de escasez absoluta en el siglo presente sino, en el peor de los casos, de un problema de explotar depósitos de minerales menos productivos y más costosos y de una exploración intensiva de nuevos depósitos. (...)
- 5) Con la tecnología de mitigación actualmente disponible comercialmente, la polución no es un problema inmanejable.
- 6) El desarrollo acelerado en las regiones en vías de desarrollo es posible sólo bajo la condición de que del 30 al 35 por ciento, y en algunos casos de hasta el 40% de su producto bruto se utilice para inversiones de capital. Un crecimiento estacionario en la tasa de inversión a estos niveles puede necesitar medidas drásticas de política económica en el campo de los impuestos y el crédito, incrementando el rol de la inversión pública y el sector público en la producción y la infraestructura. Medidas tendientes a una distribución de los ingresos más equitativa son necesarias para incrementar la efectividad de dichas políticas; cambios sociales e institucionales deberán acompañar estas políticas. (...)
- 7) Hay dos maneras de salir del dilema del balance de pagos [de los países en vías de desarrollo por sus economías deficitarias]. Una es reducir las tasas de desarrollo de acuerdo con las restricciones de la balanza de pagos. La otra es cerrar la brecha de los pagos potenciales introduciendo cambios en las relaciones económicas entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo, como lo percibe la Declaración sobre el Establecimiento de un Nuevo Orden Económico Internacional – esto es, estabilizar los mercados de *commodities*, estimular las exportaciones de manufacturas desde los países en vías de desarrollo, incrementar las transferencias financieras, y así.
- 8) Para acelerar el desarrollo, dos condiciones generales son necesarias: primero alcanzar los cambios internos de carácter social, político e institucional en los países en vías de desarrollo, y, segundo, los cambios significativos en el orden económico mundial. El desarrollo acelerado que alcance una reducción sustancial en la brecha de ingresos entre los países en vías de desarrollo y los desarrollados puede ser alcanzado solamente a través de una combinación de ambas de estas condiciones. Claramente, cada una de ellas tomada separadamente es insuficiente, pero, si son desarrolladas mano a mano, permitirán producir los efectos

deseados (Leontief *et al.*, 1977, pp. 10-11).

Las conclusiones del grupo, como puede verse, fueron de un carácter similar a las alcanzadas por el Modelo Mundial Latinoamericano, y bastante divergentes a las del grupo Meadows. De hecho, en Scolnik (1979), el matemático del Grupo Bariloche comentó el deseo de Wassily Leontief de combinar las virtudes del análisis *Input/Output* del modelo ONU con la optimización lineal utilizada por los latinoamericanos.

Leontief y la gente de la Brandeis University continuaron trabajando sobre distintas versiones del modelo de Naciones Unidas durante años, y varios documentos de la ONU (como la Resolución 3345 sobre las interrelaciones entre población, recursos y desarrollo y la 3508 sobre las tendencias económicas a largo plazo) se basaron en el análisis de las corridas del modelo. El Modelo de Naciones Unidas fue actualizado varias veces y continúa siendo objeto de análisis.

3.5 El Sexto Simposio del IIASA

3.5.1 Introducción

Si bien es difícil establecer el año exacto del nacimiento de los modelos globales dada la gran diversidad de hechos históricos a tomar en cuenta, la comunidad de modeladores nucleados en el IIASA coincidieron en tomar como tal al año 1972, donde se publicó *Limits to Growth*, libro mucho más relevante, al menos en términos comerciales y de resonancia internacional, que su predecesor, el *World Dynamics* de Jay Forrester. Llegado el año 1982, una gran cantidad de investigadores se hallaban convencidos de lo fructífero que podía resultar trabajar sobre los modelos globales con el fin de aportar conocimientos y sólidas bases científicas para los hacedores de políticas públicas. Si bien estrictamente no puede hablarse de una matriz disciplinar única (dado que como se ha visto cada escuela poseía su propia cosmovisión sobre las variables relevantes, técnicas matemáticas, valores y otras cuestiones), se coincidía en lo importante de contar con maneras de dar cuenta del sistema complejo mundo a través de la aplicación de lo mejor del cuerpo de conocimientos disponible.

Los diez años del modelado global coincidieron con el Sexto Simposio del IIASA. En los demás simposios se había aprovechado a presentar uno o dos modelos globales para someterlos a discusión entre pares. El sexto, organizado por Donella Meadows junto a los investigadores multidisciplinarios John Richardson y Gerhart Bruckmann, representaría una revisión crítica de lo acaecido en diez años de trabajo sobre el tema. Las actas del simposio (ver Meadows *et al.*, 1982),

editadas por el equipo organizador, representaría un ejemplo de objetividad científica y espíritu proactivo pocas veces visto en un documento de este tipo. Vale la pena su análisis por dos motivos. Por un lado, porque la estructura del simposio y de las actas representa un punto sumamente llamativo e interesante, digno de ser emulado. Por otro lado, porque después de dicho simposio donde se reclamó para el modelado global un estatus crucial y se delineó un canon de investigación futura determinado por el consenso de los principales actores, la actividad en el sector fue cruelmente despojada de recursos y condenada al olvido.

3.5.2 *Las actas del Sexto Simposio*

La primer nota distintiva de las actas del Sexto Simposio del IIASA es el título del trabajo: *Groping in the Dark* (Tanteando en la oscuridad). El título refiere a una fábula de Idries Shah sobre un personaje que busca en la vereda las llaves que perdió dentro de su casa argumentando que allí hay más luz. Los modeladores globales, contrariamente al curioso personaje, se encontrarían buscando en el lugar correcto, aunque serían conscientes de que los diversos desafíos del sistema complejo abarcado los sumergen en una densa oscuridad.

Los editores comenzaron el trabajo con la fábula en cuestión y luego, con una bella narrativa en formato de *haikus* procedieron a clasificar a la audiencia (o lectores) en tres tipos: los modeladores, los usuarios y “todos”, justificando por un lado por qué estas actas deberían ser interesantes para todas las personas, y por otro lado enfatizando que tanto los modeladores como los usuarios (políticos generalmente) comparten con “todos” su condición de habitantes del mundo.

Se afirmaba posteriormente que, como producto del análisis de los modelos globales desarrollados hasta el momento, se había alcanzado un diagnóstico sobre el mundo:

- 1) No hay razones físicas o técnicas conocidas por las cuales las necesidades básicas no puedan ser suplidas para toda la gente del mundo en el futuro visible. Estas necesidades no están siendo satisfechas ahora debido a estructuras sociales y políticas, valores, normas y cosmovisiones, y no por escaseces físicas absolutas.
- 2) La población y el capital físico (material) no puede crecer eternamente en un planeta finito.
- 3) No hay información confiable y completa acerca del grado en el cual el ambiente físico de la tierra pueda absorber y satisfacer las necesidades de más crecimiento en la población y el capital. Hay una gran cantidad de información parcial, la cual los optimistas leen optimistamente y los pesimistas leen pesimistamente.
- 4) Continuar políticas del tipo *business-as-usual* [negocios usuales] a través de las próximas pocas décadas no llevará a un futuro deseable – ni a satisfacer las necesidades humanas básicas; resultará en una

brecha creciente entre los ricos y los pobres, problemas con la disponibilidad de recursos y destrucción medioambiental, y en el empeoramiento de las condiciones económicas para la mayoría de las personas.

5) Debido a estas dificultades, continuar las tendencias actuales no es un curso futuro posible. Durante las próximas tres décadas el sistema socioeconómico mundial estará en un período de transición hacia algún estado que será, no solo cuantitativamente sino también cualitativamente, diferente del presente.

6) La naturaleza exacta de este estado futuro, y si será mejor o peor que el presente, no está predeterminado, sino que es una función de las decisiones y cambios que están siendo hechos ahora.

7) Debido a la inercia inherente en los procesos físicos y sociales del mundo, los cambios políticos hechos prontamente son plausibles de tener más impacto con menos esfuerzo que el mismo conjunto de cambios hechos después. Para el momento en que un problema es obvio para todos, está a menudo demasiado avanzado para ser resuelto.

8) A pesar de que se esperan y se necesitan cambios tecnológicos, ningún conjunto de cambios puramente técnicos testeados en cualquiera de los modelos fue suficiente por sí mismo de posibilitar un futuro deseable. Reestructurar los sistemas sociales, económicos y políticos fue mucho más efectivo.

9) Las interdependencias entre personas y naciones en el tiempo y el espacio son mayores que lo comúnmente imaginado. Las acciones tomadas de una vez y en una parte del mundo tienen consecuencias de largo alcance que son imposibles de predecir intuitivamente, y probablemente también imposibles de predecir (totalmente, precisamente, o definitivamente) con modelos computacionales.

10) Debido a estas interdependencias, medidas simples e individuales con la intención de alcanzar objetivos estrechamente definidos son plausibles de ser antiproductivas. Las decisiones deben ser tomadas dentro de un contexto lo más amplio posible, a través del espacio, tiempo y áreas de conocimiento.

11) Los enfoques cooperativos para alcanzar objetivos individuales o nacionales a menudo resultan ser más beneficiosos a largo plazo para todas las partes que los enfoques competitivos.

12) Muchos complejos planes, programas y acuerdos, particularmente los internacionales, están basados en presupuestos acerca del mundo que son mutuamente inconsistentes o inconsistentes con la realidad física. Mucho tiempo y esfuerzo se invierte en diseñar y debatir políticas que son, de hecho, simplemente imposibles. (Meadows *et al.*, 1982, pp. XVIII – XIX).

Puede notarse que las conclusiones a las que arriban los autores representan en buena medida las alcanzadas por los distintos equipos modeladores analizados hasta ahora en el presente trabajo de tesis.

Una vez dejado este punto en claro, los autores procedieron a establecer las características propias de los modelos mentales a fin de contraponerlos a los modelos matemáticos y los computacionales. Así, argumentaron que estos últimos poseen ventajas que los hacen útiles para la planificación política, complementando a los comúnmente utilizados modelos mentales: son rigurosos, precisos y consistentes, son explícitos (por lo que pueden ser entendidos y sometidos a juicio), pueden contener muchas más variables, siempre conllevan conclusiones lógicas sin errores desde sus supuestos (los cuales sí pueden ser erróneos) y pueden ser testeados y modificados. Sin

embargo, no son perfectos y por ello, según los autores, no deben ser tomados acríticamente sino escépticamente en conjunto con los modelos mentales (es decir, con las ideas intuitivas y el cuerpo de conocimiento más actualizado que se disponga). Varios de los fragmentos que hacían a este punto fueron analizados en el primer capítulo de este trabajo de tesis.

Dejado este punto en claro, los autores continuaron con un relevamiento de los puntos en común y en divergencia entre los distintos grupos modeladores:

Las áreas de desacuerdo son las siguientes:

1. ¿Deben los modelos ser contruidos para contestar un único y bien definido problema o deben representar muchos aspectos de un sistema y servir muchos propósitos distintos?
2. ¿Deben los modelos ser realizados en respuesta directa a cuestiones urgentes de política pública o debe ser su objetivo la mejora general en el conocimiento?
3. ¿Deben ser los modelos normativos o descriptivos?
4. ¿Cuán lejos en el futuro puede uno realmente ver con un modelo?
5. ¿Cuál es el mejor método para usar para el modelado global?
6. ¿Deberían ser los modelos grandes o pequeños?
7. ¿Debería el proceso para desarrollar el modelo ser *top-down* (empezando con estructuras generales y comprensibles y luego agregando detalles) o *bottom-up* (empezando con partes detalladas y luego ensamblándolas a una estructura total)?
8. ¿Qué debería hacerse cuando los datos sobre aspectos cruciales del sistema no están disponibles?
9. ¿Cómo deberían los actores, tecnologías, precios, poblaciones, etc. ser representados?
10. ¿Cómo debería un modelo ser testeado?
11. ¿Cuál es la audiencia apropiada para el modelado global? ¿Cuándo y de qué manera deberían comunicarse los resultados a dicha audiencia?

Las áreas de acuerdo son:

1. Es mejor establecer tus prejuicios, en la medida que puedas, en vez de pretender que no los tienes.
2. No debe esperarse que los modelos computacionales de sistemas sociales produzcan predicciones precisas.
3. Un entendimiento inexacto, cualitativo, puede ser derivado de los modelos computacionales y puede ser útil.
4. Los métodos deben ser seleccionados para adecuarse a problemas (o sistemas); los problemas no deben ser distorsionados para adecuarse a los métodos.
5. Las fuerzas más importantes que moldean el futuro son sociales y políticas, y estas fuerzas son las peor representadas en los modelos hasta ahora.
6. En los modelos globales de largo plazo, las consideraciones medioambientales y de recursos han sido demasiado ignoradas.
7. Los modelos deben ser testeados mucho más a fondo que lo típico, en su nivel de acuerdo con el mundo real, en su sensibilidad a las incertidumbres y en el rango completo de políticas posibles.
8. Una fracción sustancial de los recursos de modelado deberían destinarse a la documentación.

9. Parte de la documentación del modelo debería ser tan técnicamente completa que cualquier otro grupo de modelado pueda correr y explorar el modelo y duplicar todos los resultados publicados.
10. Parte de la documentación debería ser tan clara y libre de jergas que una audiencia no-técnica pueda entender todos los presupuestos del modelo y cómo estos presupuestos llevan a las conclusiones del modelo.
11. Los modeladores deberían identificar sus fuentes de datos claramente y compartir sus datos tanto como sea posible.
12. Los usuarios de los modelos, si son claramente identificables, deberían estar involucrados en el proceso de modelado tan directamente y frecuentemente como sea posible.
13. Es necesaria una institución internacional para la presentación, almacenado, comparación, crítica y publicación de modelos globales. (*íd.*, pp. XXII-XXIII).

Es interesante el carácter que los autores plantearon para la comunidad de modeladores globales. Se veían a sí mismos como una comunidad científica típica, con una institución que los nucleaba (el IIASA), pero por otro lado, reconocían la necesidad de involucrar a los usuarios políticos en la actividad modeladora, y de comunicar sus resultados al público general con un lenguaje adecuado para ello. Es decir, abandonaban explícitamente todo planteo de ciencia neutral y de comunidad científica aislada: la actividad del modelado global debía ser política y democrática. Se reconocía también la imposibilidad de deshacerse de los prejuicios propios, aunque podía reconocérselos y explicitárselos como acto supremo de objetividad científica.

De hecho, en la sección posterior de *Groping in the Dark*, los editores ofrecieron una pequeña autobiografía con datos biográficos de su cotidianeidad a fin de que el lector pudiese deducir los prejuicios de los mismos. Donella Meadows se reconocía como seguidora de la Teoría de Sistemas Dinámicos de Forrester, budista zen, en contra de los grandes sistemas centralizados como el comunismo y el capitalismo moderno, y comentaba que vivía en una comuna donde cultivaba vegetales orgánicos y que calentaba su hogar a leña. Richardson era inglés, holista metodológico, vivía en una granja donde criaba caballos, desconfiaba de quienes decían tener “la Verdad” y no le gustaban el dogmatismo ni la hipocresía. Bruckmann era austríaco, vivía en un departamento vienés decorado con estilo, amaba la racionalidad “por su belleza irracional”, valoraba tanto la adaptación y el cambio como la forma y la tradición y veía a la vida como un juego divertido el cual tiene por objeto ayudar a mejorar el mundo. Con esto cerraban un largo y detallado prólogo, completamente inusual en el mundo de las actas de simposios.

3.6 Los modelos globales después de la época dorada

3.6.1 Decadencia de los modelos globales

A pesar del trabajo arduo del IIASA y el Club de Roma, y del promisorio Sexto Simposio sobre modelos globales, lo cierto es que a partir de mediados de los ochenta el modelado global comenzó un proceso continuo de decadencia. Muchos de los grupos se desarmaron y en general se dejó de financiar los costosos proyectos asociados al trabajo interdisciplinario en este área.

Al explorar los motivos del abandono de los modelos globales, aparecen varios factores causales, casi todos ellos del orden de lo externo (en términos lakatosianos).

Castro y Jacovkis (2015) aportaron varios de estos causales. En cuanto al modelado en el Cono Sur, las dictaduras militares clausuraron algunos de los intentos más importantes. El proyecto Cybersyn en Chile fue aniquilado por el golpe pinochetista, mientras la mayor parte del equipo responsable del Modelo Bariloche, como se ha mencionado antes, ha debido exiliarse de Argentina tras el golpe de Videla. Castro y Jacovkis también propusieron que la época dorada del modelado global puede asociarse con un cierto aire de optimismo, una visión que suponía posible cambiar la estructura injusta del mundo a través de buena voluntad, ideas, ciencia y tecnología. Esta visión fue brutalmente clausurada por el ciclo de golpes de estado en Latinoamérica y el advenimiento del neoliberalismo en gran parte del mundo. Los grandes modeladores del sur, una vez exiliados, tuvieron que realizar todo tipo de actividades para asegurar su sustento, y muy pocos pudieron continuar en el área del modelado global.

En cuanto al modelado en el mundo desarrollado, Castro y Jacovkis relataron una historia diametralmente opuesta. Allí, fogueado por la crisis de la Unión Soviética que llevaría a la caída del Muro de Berlín hacia fines de los años 80s, se vivía un clima predominantemente optimista, y por ende contrastante con los escenarios catastróficos que aportaban muchos de los modelos globales. Sin embargo, la herramienta tecnológica no fue abandonada, sino que mutó. La tendencia fue hacia el estudio generalista de los sistemas complejos. Los autores mencionaron para reforzar su tesis la creación de institutos de estructura similar al IIASA dedicados específicamente a la llamada “ciencia de la complejidad”, como el Santa Fe Institute (fundado en 1984), y el New England Complex Systems Institute (fundado en 1994). Los sistemas apprehendidos por los modelos globales representan un caso de sistema complejo que entremezcla aspectos ambientales con aspectos sociopolíticos. El nuevo enfoque generalista se preocuparía por hallar aspectos teóricos y metateóricos que pudiesen englobar a todos (o la mayoría) de los sistemas complejos y no solo a los que interesaban a los modelos globales, incluyendo ejemplos biológicos, cognitivos, físicos, climáticos, etc. Según Castro y Jacovkis

Esto podría ser entendido como un síntoma de la prevalencia de una especialización orientada al dominio sobre [la especialización en] el análisis de dominio-cruzado al menos desde el punto de vista de la aplicación (aún cuando la interdisciplinariedad permanece como característica clave)” (2015, p. 8).

Puede corroborarse la tesis simplemente visitando la página web del IIASA⁴, donde es claro el foco del Instituto en los modelos sobre el impacto regional del cambio climático.

Gilberto Gallopín (2004) también describió el clima optimista de los años 70s, y sobre el abandono del modelado global en la década siguiente aportó varias ideas. Mencionó que algunos autores “ (...) lo atribuyen a una desilusión generalizada acerca de la planificación, y al pobre desempeño predictivo mostrado por aquellos estudios” (p. 15) mientras que otros como Steenbergen (1994) y Burrows *et al.* (1991), al igual que Castro y Jacovkis, hablaron acerca del cambio de humor general provocado por la “revolución conservadora” de los años 80s. Se mencionó un retorno durante la década posterior al modelado global, pero bajo una cosmovisión compatible con la era neoliberal. La técnica favorita para los modelos globales pasaba a ser la econometría. Eran modelos cortoplacistas, optimistas, centrados en el norte. Consideraban a la economía como la dimensión fundamental y se apoyaban en teorías económicas neoclásicas como las de Friedrich von Hayek, Joseph Schumpeter, o Milton Friedman, mientras se ignoraban cosmovisiones alternativas que plantearan una nueva relación del hombre con el ambiente. De hecho los aspectos globales eran ampliamente ignorados. Aparecían como actores fundamentales los sectores financieros y las corporaciones transnacionales y lo más relevante parecía ser la competencia entre EE.UU., Japón y Europa. Además Gallopín agregó que “El único tema global nuevo más o menos candente es el de la migración” (p. 17).

Como se mencionó en el capítulo anterior, la econometría es una matriz disciplinar de la economía que utiliza herramientas estadísticas para estudiar distintos aspectos de los sistemas económicos. Castro y Jacovkis (2015) rechazaron considerar a los modelos econométricos como el de Klein-Goldberger (1955) como modelos globales debido a que con esta técnica no se “(...) toma en consideración otras variables sociales -o políticas-” (p. 2). Sobre la econometría, Guy Orcutt (1952), pionero de las simulaciones en economía cuya historia se repasó en el capítulo anterior afirmó:

A pesar del hecho de que las implicaciones políticas obtenidas de los modelos econométricos dependen críticamente de cuáles variables son consideradas exógenas y cuáles endógenas, los econometricistas no han introducido evidencia suficiente soportando sus elecciones, a pesar de que difícilmente podría sostenerse que las variables elegidas como exógenas no sean obviamente afectadas por las variables elegidas como

⁴ <http://www.iiasa.ac.at/>

endógenas (p. 198).

La crítica de Orcutt apuntaba a que los modelos econométricos tienden a tener entradas exógenas (es decir datos aportados por el usuario o por modelos externos) a sus correlaciones, lo cual oculta el hecho de que en los complejos sistemas modelados, las variables endógenas influyen a las exógenas, modificándolas. Puede matizarse la crítica señalando que la misma no parece atacar al método sino más bien a omisiones de los modeladores, que podrían utilizar en simultáneo variables endógenas y exógenas. Además, los sistemas informáticos modernos de modelado permiten modularizar las simulaciones de modo que algunas subunidades pueden funcionar mediante métodos econométricos mientras otras pueden funcionar bajo otras matrices disciplinares. De hecho, el ecléctico modelo global inglés *SARUM* y el modelo global holandés sobre seguridad alimentaria *MOIRA* funcionan de esa manera. Teniendo en cuenta esta cuestión, lo más destacable no parece ser la crítica técnica sino más bien la crítica ideológica señalada por Gallopín.

3.6.2 *La persistencia de los modelos*

Sin embargo, a pesar del panorama oscuro, algunos modelos globales persistieron. El más popular de ellos, *World3*, a pesar de las duras críticas recibidas, ha sido el más duradero. En 1992 el grupo Meadows actualizó su modelo agregando algunas variables y migrando el lenguaje de modelado desde el obsoleto DYNAMO al moderno *Stella*. Así, publicaron *Beyond the Limits* (Meadows *et al.* 1992), libro de divulgación de un tono aún más catastrofista que su predecesor. La misma línea argumental 20 años después implicaba que los límites al crecimiento preanunciados ya habían sido superados, urgiendo a tomar las medidas de equilibración del sistema global para mitigar los efectos de una crisis que casi con seguridad ocurriría. Algunas variables y un poco más de pesimismo son agregados en una nueva actualización publicada por los Meadows en *Limits to Growth: the 30-Year Update* (Meadows *et al.*, 2002). Parte del pesimismo estaba relacionado sin duda con la muerte de la autora principal de los libros, Donella Meadows, cuyo optimismo y fe en la humanidad son destacados como superiores a los del resto del grupo en el prólogo de sus publicaciones. El capítulo argentino del Club de Roma publicó en 2012 una edición en español de este último texto (Meadows *et al.*, 2012).

Puede notarse a lo largo de los libros del grupo Meadows una enorme coherencia en la línea de pensamiento, manteniendo las ideas fundamentales a pesar de las severas críticas recibidas,

aunque Castro y Jacovkis (2015), al analizar los dichos de Randers (2012), encontraron que este autor sí modificaba algunas de las aseveraciones primigenias de su grupo:

[el libro de Randers] apunta a la necesidad de una solución de tres problemas fundamentales y legítimos: pobreza, desempleo e inseguridad jubilatoria, que subyacen a la fascinación global con el crecimiento. Estos problemas deben ser resueltos de una manera compatible con la *reducción planificada de la huella ecológica humana*” (Castro y Jacovskis, p. 5, énfasis propios).

Los autores señalan como una “reinterpretación no-tradicional” de Randers el hecho de usar los términos “reducción planificada” en vez de “detención del crecimiento” y “huella ecológica” en vez de “crecimiento económico”.

El concepto de “huella ecológica” es definido como “una medida de cuánta biocapacidad necesita una población, organización, o proceso para producir sus recursos y absorber sus desperdicios utilizando la tecnología predominante.” (Wackernagel & Monfreda, 2004, p.1, trad. propia). Dicho concepto fue desarrollado por el ingeniero suizo Mathis Wackernagel en su tesis doctoral de 1994 (ver Wackernagel, 1994) y por ende no podría haber sido aplicado con anterioridad a ese año, mientras que sí fue aplicado en la actualización del 2004. Por ende, la observación de Castro y Jacovkis sobre los dichos de Randers resulta algo tendenciosa en este punto. Algo más interesante es que curiosamente Randers hizo referencia a la necesidad de una repartición igualitaria de los recursos globales, algo que no se desprende de los trabajos anteriores del grupo ni de la estructura de *World3*.

Algunos estudios académicos recientes se han publicado defendiendo a *World3*, como Bardi (2011) y Turner (2012) mientras otros estudios lo siguieron atacando, como es el caso de Castro (2012). Esto simplemente demuestra que los modelos globales continuaron siendo objeto de estudio relevante en la academia. En el capítulo 6 se analizarán los trabajos de Turner y Castro.

Como ya se mencionó, en el año 2004 el grupo Bariloche publicó también una versión ampliada de su obra clásica denominada *¿Catástrofe o nueva sociedad?: Modelo Mundial Latinoamericano 30 años después* (Herrera *et al.*, 2004) la cual presentó a modo de prólogo los testimonios de varios de los integrantes originales del grupo. Como manera de reafirmar su ideología, la publicación fue colgada a internet por los autores para que pueda servir de objeto de discusión para el público general. Actualmente, como ya se ha mencionado, el Dr. Rodrigo Castro está trabajando junto al matemático del grupo Bariloche, Hugo Scolnik, y el biólogo Gilberto Gallopín, en la actualización del código del Modelo Mundial Latinoamericano.

Existen algunos otros modelos en boga, siendo tal vez el más destacable en términos de prensa el modelo *International Futures* de la Universidad de Denver, creado en 1980 pero

actualizado varias veces (la última vez en 2006). Actualmente su creador, Barry Hughes, continúa trabajando sobre el mismo.

Todos los hechos aportados en esta última sección muestran que a pesar de la decadencia que sufrió el área de los modelos globales, aún existen sectores de la academia que los consideran adecuados para comprender el funcionamiento del sistema mundo, y también como herramientas de prospección útiles para los diseñadores de políticas. Este trabajo de tesis apunta también a ser parte del *corpus* de investigaciones que creen en la potencialidad de este tipo de simulaciones para la creación de políticas que mejoren la calidad de vida de las sociedades, y que por ello insisten en continuar teniendo a los modelos globales como objeto de estudio útil y relevante.

3.7 Cierre del Capítulo

El presente capítulo finaliza el desarrollo del contexto histórico sobre los modelos globales. Este marco es necesario para poder pasar a las secciones siguientes donde se procederá con los estudios epistemológicos y del área de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología. Lo que se ha buscado captar es la cosmovisión asociada a cada grupo de investigadores involucrado en el proceso, y su relación con su contexto sociohistórico, cultural y académico.

En el capítulo anterior se había dado cuenta de los hechos que llevaron a la creación y popularización del primer modelo global publicado: *World2* de Jay Forrester. En el presente capítulo se trabajó sobre los hechos que dieron origen a los demás modelos globales, la mayoría de los cuales emergió como “respuesta” a *World2* o a su sucesor *World3*. Se ha realizado una extensa exploración bibliográfica a fin de identificar la historia y los objetivos perseguidos por cada grupo de modeladores, con énfasis en los modelos principales de la llamada “época dorada de los modelos globales”. De estos, los que se han considerado más importantes y por eso se profundizó el análisis sobre ellos, fueron el mencionado *World3* y el Modelo Mundial Latinoamericano.

En consecuencia el próximo capítulo se enfocará en la polémica acaecida entre el grupo de modeladores del MIT responsable del modelo *World3* y los modeladores argentinos del Modelo Bariloche. El foco no será mayormente en los aspectos técnicos, sino que se trabajará en la cuestión de la presencia de valores no-epistémicos en los argumentos de ambos grupos e incluso en el diseño de sus respectivos modelos. Este tema de carácter filosófico resulta central para el desarrollo de una concepción epistemológica adecuada no sólo para los modelos globales sino para un marco más general de filosofía de las simulaciones informáticas.

Capítulo 4: La dimensión valorativa de los modelos globales

4.1 Introducción

En los capítulos anteriores del presente trabajo de tesis se procedió a una extensa búsqueda bibliográfica a fin de conformar un marco histórico sobre los modelos globales. En el capítulo dos se trabajó sobre aquellos hechos que sentaron las bases para la creación del primer modelo global ampliamente difundido (*World2*) y luego, en el capítulo tres, el foco se realizó sobre los más importantes de la llamada “década dorada de los modelos globales”, surgidos la mayoría como respuestas al primer modelo o a su sucesor. También se revisaron los motivos para la decadencia del modelado global tras la década del 80 y su vigencia actual en la academia.

Ahora que el marco histórico ha sido descripto en detalle, puede comenzarse con un análisis filosófico sobre el tópico en cuestión. La primera exploración constará en la búsqueda de la dimensión valorativa de los modelos globales, es decir, se indagará sobre la presencia de valores no-epistémicos.

Como señala Gómez (2014) en nota al pie:

Hay pues tres dicotomías que se han usado para referirse a la presencia de valores en la investigación científica: cognitivo/no cognitivo, epistémico/no epistémico e interno/externo. (...) Así, los positivistas lógicos prefieren hablar de cognitivo/no cognitivo, Kuhn suele usar epistémico/no epistémico, mientras que Lakatos habla de interno/externo. Más allá de la discusión de si son estrictamente equivalentes o de si es adecuado seguirlas manteniendo, (...) lo importante para nuestro trabajo [y para este trabajo de tesis] es que su tesis central sostiene que en todo contexto de la investigación intervienen valores de ambos tipos en cada dicotomía. (pp. 14-15)

Se entiende a los valores no-epistémicos (o no-cognitivos, o externos) como aquellos que no formarían parte de la investigación científica “propia y debidamente dicha”, sino que yacen en el “exterior”. Es decir, los valores de corte ideológico, socio-político. Por comodidad, en adelante se hará uso exclusivamente de la terminología “valores no-epistémicos”.

Si bien en ciertos aspectos de la práctica puede decirse que resulta obvia esta presencia (por ejemplo, en la decisión de confeccionar un modelo que redunde en políticas para mejorar la calidad de vida de las sociedades podría detectarse cierta cosmovisión altruista), en otros resulta algo más controvertido: ¿caso las ideologías de los modeladores pueden alterar en algún grado la propia

estructura matemático-computacional de un modelo? Se analizará esta pregunta a fin de esbozar una respuesta para el caso.

Existe una vasta literatura explorando la cuestión de los valores no-epistémicos desde distintas ópticas. Andrew Feenberg (2009) afirmó que la presencia de valores repercute en forma disímil ya sea que se esté analizando a la ciencia o a la tecnología, por lo que parece necesaria una demarcación ontológica entre ambas prácticas (las cuales, intuitivamente puede notarse que se hallan de alguna manera profundamente imbricadas). Se revisarán algunas alternativas de demarcación a fin de elegir la más conveniente para el análisis de los modelos globales. Eso implicará también, necesariamente, definir si dichos modelos pertenecen al dominio de lo científico o al dominio de lo tecnológico, para poder desde allí acercarse a los marcos valorativos definidos para cada práctica.

Una vez que esto esté claramente definido, se procederá a chequear desde documentos históricos los elementos que denoten la posición valorativa de dos de los más importantes grupos de modeladores globales: el grupo Meadows del MIT y el grupo Herrera de la Fundación Bariloche. El análisis de la polémica surgida entre ambos grupos esta vez no se centrará en los elementos contextuales, sino en la búsqueda de las posiciones ideológicas y su influencia sobre las decisiones técnicas que moldean el funcionamiento de sus modelos globales. Se espera que este análisis de caso práctico pueda resultar de ayuda para aportar en esta discusión siempre relevante del ámbito de la filosofía de la ciencia y la tecnología desde una óptica novedosa.

4.2: El asunto de la delimitación ciencia-tecnología

4.2.1 ¿Por qué es importante delimitar?

El tópico de la delimitación ciencia-tecnología tiene un evidente interés filosófico desde el ámbito de la ontología. Si son dos tipos distintos de prácticas, será interesante definir las diferencias entre ambas a fin de poder clasificar si un ente determinado pertenece a un dominio u otro. Si en cambio, la imbricación entre ambos tipos de prácticas es tan profunda que, dadas sus características actuales se fundieron en una sola (denominada “tecnociencia”), podría resultar interesante analizar el proceso que llevó a dicha fusión. Sin embargo, el problema ontológico no parecería *a priori* relevante para un análisis de los modelos globales. Lo único que parecería resultar de interés es la definición de si dichos modelos conforman un objeto epistémico (como una teoría o una hipótesis) o un objeto tecnológico (en un sentido artefactual, por ejemplo). Pero dada la complejidad de la

tarea (habiendo importantes autores que defienden ambas posturas) podría ser un riesgo que no valiera la pena.

Lo que le otorga sentido a tomar una postura respecto al problema de la delimitación en este trabajo de tesis no es la dimensión ontológica, sino sus consecuencias en la influencia de los valores no-epistémicos, es decir, su dimensión epistemológico-valorativa. Si se reconociese que hay un impacto distinto de las cosmovisiones en la ciencia y en la tecnología, esto obligará a tomar postura por una delimitación entre ambos tipos de prácticas (aunque podría reconocerse una intersección de ambos dominios).

El filósofo de la tecnología Andrew Feenberg (2009), enfatizó la necesidad de realizar la distinción ciencia-tecnología. Su argumento tiene que ver no sólo con el impacto diferenciado de los valores en dichas prácticas, sino también en que como consecuencia de ese impacto, se requerirían políticas diferentes a la hora de la planificación y la intervención.

Feenberg parte de las distinciones clásicas de ambas prácticas:

El retrato clásico, pero en general desacreditado, (...) sostiene que la ciencia es un conjunto de verdades sobre la naturaleza y la tecnología una aplicación de tales verdades en la producción de instrumentos útiles. Verdad y utilidad pertenecen a mundos diferentes ligados sólo por la subordinación de la última a la primera. (p. 280)

La profunda imbricación entre la ciencia y la tecnología es evidente intuitivamente. La ciencia se vale de instrumentos tecnológicos para lograr nuevo conocimiento (nuevas “verdades”) mientras nueva tecnología se desarrolla gracias al conocimiento aportado por los científicos. Además,

[proliferan casos] donde las técnicas científicas se despliegan en la búsqueda de resultados de interés no sólo para los investigadores, sino también para las compañías (...). Productos y conocimiento emergen juntos del laboratorio. La búsqueda de conocimiento y el hacer dinero se juntan en un único trabajo. La distinción entre ciencia y tecnología parece quebrarse. (*id.*, p. 280)

Por todos estos motivos, sigue Feenberg, surge el concepto de tecnociencia, el cual es sostenido por muchos teóricos posmodernos y de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología. Al disolverse la delimitación, la jerarquía de valores que sostenía una preeminencia de la verdad sobre la utilidad se cae y, pese a lo que la comunidad científica desearía, se legitiman ciertas formas de control externo a su actividad. Pero Feenberg considera que dicha jerarquía de valores es

relevante y por ende, la democratización de las prácticas “tiene un significado normativo específico para la tecnología que no lo tiene para la ciencia” (p.282).

Resultará entonces de importancia capital para el análisis de la dimensión valorativa de los modelos globales tomar una postura respecto a la delimitación ciencia-tecnología, para poder definir el tipo de entidad que son los modelos globales y de allí pensar los valores asociados. Ese será el objeto de las próximas secciones.

4.2.2 Ciencia, tecnología, técnica y tecnociencia

Giuliano (2006) planteó siguiendo a Ciapuscio distintos marcos de referencia clásicos sobre la ciencia y la tecnología. Para la primera, aparecen denominaciones como por ejemplo “cuerpo de conocimiento sobre la naturaleza” y “campo de investigación sistemática”. Para la tecnología, aparecen entre otras “productos materiales de fabricación humana” y “complejo de conocimiento, materiales y artefactos utilizados en una técnica”.

Estos marcos plantean varias posibilidades de delimitación que no son compatibles entre sí. Giuliano (2006, p. 29) las resumió a través de figuras de Euler-Venn:

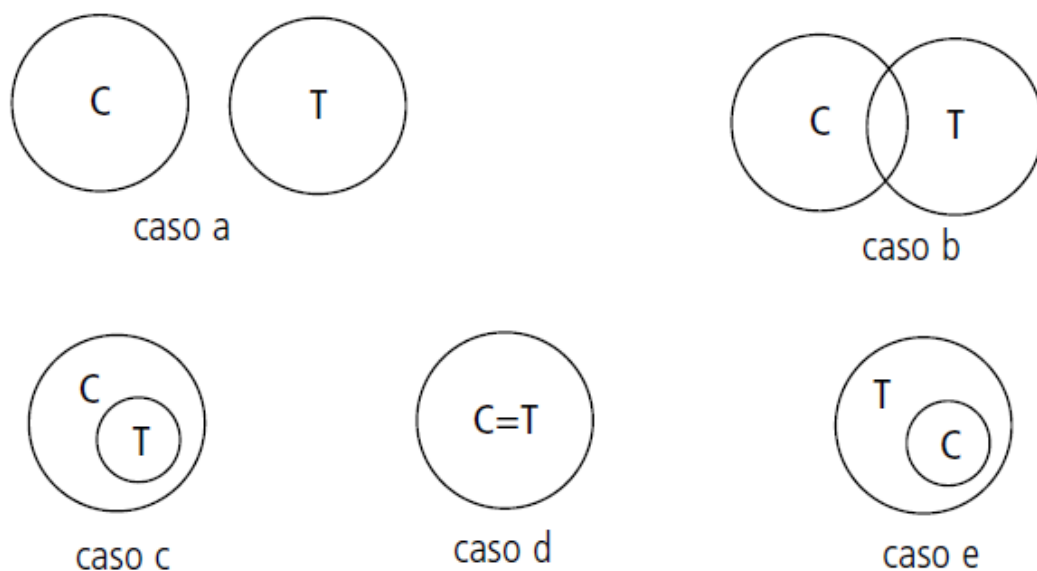


Fig. 4.1: posibles relaciones entre ciencia y tecnología

A continuación se evaluará cada una de las posturas representadas en el cuadro a fin de analizar sus implicancias y así, definir la más adecuada para un marco valorativo sobre los modelos globales.

El caso “a” indica una separación total entre la ciencia y la tecnología.

Un argumento a favor de esta postura tiene que ver con el hecho de que ambas prácticas poseen metodologías diferentes. Mientras que en la práctica científica se utilizaría alguna forma más o menos sistemática de “método científico” (ya sea inductivismo, hipotético-deductivismo o más bien combinaciones amorfas de razonamientos lógicos a partir de la evidencia disponible), los tecnólogos utilizarían “heurísticas” las cuales son definidas por Billy Vaughn Koen (2003) como cualquier cosa que provea direcciones plausibles para alcanzar los objetivos. En ese “cualquier cosa” se incluyen recursos dispares como factores de seguridad, actitudes ingenieriles, “reglas del pulgar” (*rules of thumb*) y otros típicos de la cotidianeidad del trabajo en ingeniería.

Andrew Feenberg (2009) defendió esta posición como la más adecuada, pero no hizo mención del tema metodológico sino que utilizó otros argumentos para apoyarse. Su estrategia apunta la artillería en contra del concepto de “tecnociencia”. Existiría un criterio primario que separa a ambas prácticas: los procedimientos de decisión.

Las controversias científicas son resueltas por la comunidad científica o, más aún, por lo que los sociólogos de la ciencia designan como el “conjunto específico” de investigadores involucrados en el debate de los aspectos científicos relevantes. *Las determinaciones sociales, culturales y económicas juegan un papel solo indirecto en tales debates, por ejemplo, dando poder a algunos participantes para realizar experimentos costosos o influenciar la primera reacción a los resultados anunciados.* Pero en el análisis final, las pruebas epistémicas llevadas a cabo por individuos o pequeños grupos en congresos, artículos y laboratorios son la medida principal de las ideas en competencia. (Feenberg 2009, p. 283, énfasis propio).

Estas determinaciones sociales, culturales y económicas en cambio sí serían de una relevancia absoluta en la tecnología.

Otro criterio de demarcación tiene que ver con la subdeterminación en la ciencia: las teorías científicas “...no se encuentran determinadas únicamente por observación y experimento (...) el edificio completo del conocimiento está implicado en la evaluación de cada una de sus ramas particulares” (*Id.*, p. 284). Siguiendo a Pierre Duhem, Feenberg afirmó que aunque inciertas y nunca definitivas, las decisiones sobre verdad o falsedad en la ciencia se basan en el “buen sentido”. En cambio en la tecnología pueden proliferar diferentes artefactos con un mismo objetivo, no habiendo tal cosa como una racionalidad tecnológica determinista.

Feenberg es consciente de que intereses corporativos o ideológicos pueden inducir a resultados desastrosos en la ciencia, como en el caso del lisenkoísmo (ver Gómez, 2014). Sin embargo, es la propia comunidad científica la que termina desenmascarando estos resultados. Por esta capacidad de los científicos “las corporaciones y las agencias gubernamentales podrían no

gustar de la relativa autonomía de la ciencia” (Feenberg, 2009, p. 290).

Respecto a estos comentarios analizó Giuliano:

Para Feenberg, el objetivo primario de los científicos es – aún cuando estén involucrados en actividades comerciales – “obtener un conocimiento confiable de la naturaleza” y en este cometido los factores sociales externos juegan sólo un papel indirecto. (Giuliano, 2009, p. 301).

Lo que Feenberg tiene en mente es una idea bastante extendida respecto de la ciencia: se trata de una actividad que tiende a “la verdad”. Cualquier intromisión de valores subjetivos a la misma funciona como obstáculo epistémico. La naturaleza “es como es”, y las ideologías y cosmovisiones solo pueden producir una forma de miopía en el investigador. Aquel científico que consiga despojarse de todo manto de subjetividad será quien pueda ver a Natura con mayor claridad. Galileo pudo despojarse de la metafísica aristotélica sostenida por la Iglesia Católica. Darwin pudo superar la visión creacionista, hija de las creencias religiosas, y así desarrollar el evolucionismo. La lista puede extenderse más. Esta idea puede hallarse también en ámbitos extra-académicos. En una columna de la revista Viva del diario argentino Clarín, se afirmó que el Premio Nobel argentino César Milstein

Es una suerte de sabio con carisma. No tiene demasiados intereses lejos de su laboratorio y *es por eso* que sus opiniones son extremadamente libres. (Revista Viva, 08/01/1995, énfasis propios).

La potencialidad de democratización en ambas prácticas es distinta en la visión feenbergiana. La tecnología sería algo que permea profundamente a la sociedad conformando la matriz en la que la misma yace, al estilo del *milleu* de Jacques Ellul (ver Giuliano, 2006). A esta imbricación Feenberg la denominó “jerarquía entramada”, y es el motivo por el cual su Filosofía Crítica de la Tecnología plantea la necesidad de un involucramiento activo de la sociedad en el diseño tecnológico como modo de moldear positivamente el mundo en que vivimos. Pero en el caso de la ciencia esto sería completamente distinto. La determinación de lo que es “verdad” (aunque no sea en un sentido absoluto e ingenuo sino en un sentido de aquello que es cognoscitivamente aprehensible) no debería quedar en manos de los legos, sino que debería surgir del consenso de expertos (dado que los ciudadanos no-expertos, por definición, no tienen conocimiento para poder intervenir constructivamente en los complejos procesos del contexto de justificación científico). La única forma de democratización de la ciencia posible sería entonces a través de las demandas sociales a la comunidad científica. En el momento en que los ciudadanos soliciten a los científicos determinadas soluciones a controversias que los afectan, estarían canalizando y reorientando las

temáticas de investigación. Es, evidentemente, una jerarquía entramada muy debilitada respecto a la sugerida por el autor para la tecnología.

Si bien los argumentos de Feenberg son atendibles, en este trabajo de tesis no se coincide *tout court* con su posición. Por un lado, se aceptan dos de los tres puntos principales: es necesario tomar una postura de delimitación respecto a la ciencia y la tecnología para estudiar la dimensión valorativa de los productos de sus prácticas, y la tecnología y la sociedad poseen una profunda imbricación que provoca la necesidad de intervenir en los diseños tecnológicos a fin de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Pero por otro lado no se coincide en la visión cerrada de la ciencia que proclama el autor, siendo la forma de democratización propuesta demasiado débil como para poder guiar esta práctica que posee una influencia en la sociedad mucho más fuerte que la que puede entreverse con su Filosofía Crítica. Así, se estaría dejando un poder muy importante en pocas manos.

La visión de Feenberg sólo podría lucir convincente cuando se piensa en casos como el de las ciencias formales (por ejemplo, $1+1=2$, a pesar de tal o cual cosmovisión) o el de ciertos lugares de las ciencias naturales (ya que sería difícil notar las ideologías en leyes científicas como $E=mc^2$).

Hoy en día el lugar en que los investigadores trabajan guarda poca similitud con lo que Feenberg tiene en mente. Una gran parte de los desarrollos científicos modernos apuntan a la comprensión de los denominados “sistemas complejos”. Estos son impredecibles, caóticos, no-lineales, y difícilmente puede modelárselos con precisión. Así son la gran mayoría de los sistemas sociales, rama de la ciencia completamente incompatible con la idea feenbergiana. No hay experimentos cruciales *alla* Popper para dirimir estas cuestiones. Allí los valores no-epistémicos, las cosmovisiones de los investigadores y de quienes los sustentan penetran con mayor facilidad. Y esto no se debe necesariamente a vicios de un mal investigador, miope por su subjetividad. Los preconceptos son inevitables hasta para el más objetivo y neutral de los expertos, y esto no ha detenido la marcha de la ciencia.

Pero negar la postura feenbergiana argumentando una imbricación profunda entre ciencia-sociedad que se une a la imbricación profunda tecnología-sociedad, no tiene necesariamente como consecuencia negar la separación tajante entre ambas prácticas sugerida por el diagrama “a” de Giuliano. Existe la posibilidad de que ambas prácticas se intersecten con la sociedad sin intersectarse entre ellas. Lo que debe analizarse entonces es si existe imbricación entre ciencia y tecnología, y de existir, de qué tipo es.

El diagrama “c” sugiere una subsunción total de la tecnología en la ciencia. Esta es una postura con muchos adeptos, y plantea que la tecnología no tiene una estructura propia sino que es una parte de la ciencia, a la cual se le llamará, dada la tangibilidad manifiesta de sus productos,

“ciencia aplicada” en contraposición con aquella cuyos productos no son tangibles sino meramente epistémicos, llamada “ciencia pura” o “ciencia básica”.

Esta idea tiene origen en el informe que el ingeniero Vannevar Bush (1945) realizara al presidente Roosevelt para aconsejarle respecto a cómo debería desde el estado orientarse la política científica.

La distinción, según propuso Bush, se daría en términos de la motivación que impulsa a los investigadores: la investigación básica (es el propio Bush quien introduce esta denominación) se realizaría sin objetivos prácticos (más que el conocimiento como fin en sí mismo), mientras que la investigación aplicada, efectivamente poseería objetivos prácticos específicos y concretos. Bush realizó la distinción para argumentar que la ciencia básica poseería aplicaciones (impredecibles pero cruciales) y serviría de insumo a la aplicada. Por ende resultaría imprescindible para una nación tener una producción importante de ella, a fin de asegurar su competitividad y primacía económica. Entonces, la ciencia básica consistiría en algo así como un juego de intelectos libres, investigando sin intromisión exterior, autónomamente. Los científicos aplicados tomarían aquello que los básicos provean, de manera de desarrollarlo con un fin específico, y los tecnólogos finalmente crearían productos tangibles con esto. Así, Bush aseveró que aquel país que invierta en ciencia básica recuperará su inversión a través de las ganancias surgidas del desarrollo tecnológico.

Este modelo epistémico provee una idea de flujo unidireccional desde la ciencia “por el conocimiento mismo” hacia las aplicaciones tecnológicas, y fue denominado por ello “modelo lineal de innovación”, el cual se aplicó en varios países. Otros modelos aparecieron como contraposición a dicho modelo, como el “cuadrado de Pasteur” y el “triángulo de Sábato”, los cuales implican concepciones de la innovación diferentes (ver Dvorkin, 2017). En definitiva, el modelo lineal de innovación de Bush implica claramente una subsunción de la tecnología en la ciencia como la sugerida por el diagrama “c”.

Otro autor que sostiene esta idea es el filósofo español Fernando Broncano (2000), quien planteó como única diferencia entre ciencia y tecnología su motivación: en el caso de la ciencia (pura) se trataría de la “explicación” mientras que en la tecnología se trataría de la “aplicación práctica”. Pero, a diferencia de las posturas demarcativas profundas respecto al método de ambas prácticas Broncano afirmó que

Si entendemos método como baterías de control de calidad, teóricas en una, prácticas en la otra, las diferencias entre ciencia y tecnología no se encontrarán en el método, no al menos en mayor grado del que las diferentes ciencias difieren entre sí (2000, p. 88).

y también que la tecnología “es la aplicación del método científico a la praxis humana” (p. 87).

El argumento de Broncano puede ser apoyado también atendiendo a la diferencia terminológica clásica entre “tecnología” y “técnica”. Mencionó Agazzi (1998) que

Por *técnica* usualmente queremos significar un despliegue de habilidades prácticas que permiten realizar fácil y eficientemente una actividad dada (sea puramente material o atada a ciertas actitudes mentales). Pero (...) también usamos *técnica* como un sustantivo colectivo que indica un muy amplio espectro de dichas técnicas simples. En dichos contextos, estos son a veces indicados por el antiguo término *técnicas*. Esto es, todos los procedimientos eficaces concretos que han probado ser útiles para obtener ciertos resultados (...). Técnica, en este sentido, es el término colectivo que involucra un gran número de *técnicas*, y en este sentido usualmente hablamos, por ejemplo, de la “habilidad técnica” de un artesano, de un abogado profesional o de un pianista. Cualquier técnica es esencialmente la aplicación de un cierto *know-how* [saber-cómo], el cual ha sido constituido a través de la acumulación y transmisión de *experiencias* concretas (...) sin haber sido necesariamente acompañadas o soportadas por un *knowing why* [saber-porqué] dichos procedimientos concretos son especialmente eficaces (p.2, trad. propia, énfasis del autor).

Mientras que por otro lado

El sufijo “logía” que encontramos en la palabra *tecnología*, nos invita a aprovechar el aspecto teórico que usualmente se encuentra atado con su uso (comparar con teología, sociología, filología, etnología); sirve para indicar la presencia de algún tipo de dimensión “científica”, o al menos teórica (*id.*).

Si se toman las definiciones clásicas expresadas por Agazzi, puede notarse que si un artefacto no fue realizado a través de un procedimiento soportado por bases científicas (un ejemplo típico de esto es el de la primera máquina de vapor, la cual precedió a la teoría termodinámica), no se trata de una tecnología sino de una técnica. La tecnología conceptualmente requiere tener un conocimiento científico para ser tal, lo cual aporta a la idea de que se trata de ciencia aplicada. Mario Bunge (1966) es otro importante filósofo que defiende esta idea.

Sin embargo, hay quien sostiene al diagrama “e” como el más indicado: es decir, sería la tecnología quien subsumiría a la ciencia y no a la inversa. Uno de ellos fue el filósofo alemán Martin Heidegger (1977), quien afirmó que si bien en la modernidad la ciencia tenía primacía, en la actualidad aparecería una prioridad ontológica de la tecnología sobre la ciencia, dada la necesidad del instrumental tecnológico para el proceder experimental científico. El historiador Paul Forman (2007) reconoció esta primacía como un fenómeno posmoderno.

El filósofo de la tecnología Joseph Pitt planteó que metodológicamente la tecnología se sustentaría en el análisis de métodos exitosos mientras que la ciencia se sustentaría en la búsqueda de proposiciones universalmente verdaderas.

Giuliano (2006) resumió parte de la tesis de Pitt en los siguientes puntos:

- a) La naturaleza del conocimiento científico es teoría-dependiente y es desarrollado para entender cómo es el mundo. La naturaleza del conocimiento tecnológico es tarea-dependiente y es desarrollado para resolver problemas específicos a través de la construcción de artefactos.
- b) El conocimiento en ingeniería es transportable entre paradigmas (“cookbook engineering”), mientras que el científico no lo es (inconmensurabilidad).
- c) La explicación tecnológica y la explicación técnica difieren de la científica. Mientras esta última busca encontrar relaciones causales de aplicación universal, la explicación tecnológica se refiere –en función de la definición elegida– a la relación y al comportamiento entre las personas. Por último la explicación técnica busca entender fenómenos particulares sin pretender universalidad (...)
- d) El proceso de diseño –contraparte del método científico– es un complejo de decisiones técnicas y de gerenciamiento que se influyen mutuamente y que por lo general se aleja de la imagen de comportamiento racional que se le atribuye a la actividad científica. (p. 34-35)

Pitt además planteó que la tecnología poseería una complejidad multidimensional por lo que para definirla utilizó la siguiente secuencia:

- Una herramienta es un mecanismo cualquiera (no necesariamente material).
- Tecnología es el uso de herramientas para lograr fines específicos.
- La raza humana cuando trabaja hace uso de herramientas.
- Luego, tecnología es humanidad trabajando. (p. 33)

Más allá de haberse esforzado por argumentar una delimitación clara entre ciencia y tecnología, Pitt planteó también que es falaz pensar a la ciencia como “conocimiento puro” ya que se trataría de una práctica de carácter social permeada por intereses múltiples. Asimismo, su definición amplia de tecnología incluye no sólo su dimensión artefactual sino también la infraestructura y los procesos burocráticos que todo científico precisa para su actividad. Todo esto lo llevó a afirmar que la ciencia es otra forma de “humanidad trabajando” y por ende se subsumiría en la tecnología.

La mencionada profunda imbricación de las prácticas, en definitiva, elimina al diagrama “a”, pero no sienta bases para elegir entre ningún otro de los diagramas. En cuanto a las posibilidades de subsunción, no parecen realmente prometedoras. A fin de categorizar cuál práctica subsume a cuál, una pregunta pertinente podría ser: ¿qué estuvo antes? Aparentemente hubo ciencia antes que tecnología, dada la necesidad conceptual de esta última de incluir aspectos de la primera. Pero antes que las dos estuvo la técnica. Esta es parte de la esencia humana desde su desarrollo primitivo, y sin duda sirvió de base para su evolución y por ende para originar a las otras prácticas. ¿Tiene sentido

plantearse cuál de las dos prácticas posee primacía ontológica? Este enigma, del tipo argumental del enigma del huevo y la gallina, no parece otorgar ninguna pista para pensar a los modelos globales, sino que más bien parece una cuestión de preferencia personal.

Resumiendo los argumentos esgrimidos hasta el momento para el tema de la delimitación:

- Existe una profunda imbricación entre ambas prácticas. La ciencia es insumo para la tecnología y la tecnología es insumo para la ciencia. Luego el esquema de demarcación total no es adecuado.

- El concepto de tecnología implica, a diferencia del concepto de técnica, la presencia de algún aspecto teórico (ciencia), mientras que la ciencia no puede operar sin la infraestructura y la burocracia (tecnología) asociada a su naturaleza comunitaria. Luego, los esquemas de subsunción total de una práctica en la otra se cancelan mutuamente y no resultan adecuados.

Descartados los diagramas “a”, “c” y “e”, habrá que estudiar la factibilidad que ofrecen los esquemas “b” y “d” para representar a los modelos globales.

El diagrama “d” sugiere que la imbricación entre la ciencia y la tecnología es tan profunda que, al menos en la actualidad, se han fundido en una práctica única, denominada “tecnociencia”. Este concepto, según el filósofo español Javier Echeverría (2005), proviene de un texto de 1987 de Bruno Latour para abreviar “ciencia y tecnología”, aunque luego fue utilizado de manera “omnicomprensiva” por muchos autores, como la filósofa feminista Donna Haraway y el filósofo belga Gilbert Hottois, y como ya se mencionó, fue criticado por Feenberg como un concepto confundente e inadecuado.

La otra posibilidad es la sugerida por el diagrama “b”, el cual sugiere que existe una distinción clara entre ciencia y tecnología aunque existe una zona formada por la intersección de ambas prácticas, donde los objetos poseen tanto la naturaleza ontológica de las entidades de un dominio y al mismo tiempo también las del otro dominio. A diferencia del esquema anterior, donde existe un único dominio donde todas las entidades poseen las mismas propiedades, aquí pueden notarse objetos claramente epistémicos, objetos claramente tecnológicos y objetos de naturaleza dual.

La naturaleza dual puede pensarse aprovechando las ventajas didácticas de la teoría de conjuntos explotada por los diagramas de Euler-Venn de Giuliano. Las entidades que pueblan la zona de intersección no forman una subclase especial con un tercer tipo de propiedad distinta de las de las entidades científicas y las tecnológicas, sino que contienen al mismo tiempo las propiedades claramente diferentes de una y otra práctica. Sugirió Echeverría (2010) que

Matizando las tesis de Hottois y Latour, pensamos que la emergencia de la tecnociencia no implica

necesariamente la subsunción en ella de la ciencia, la técnica y la tecnología. Estas cuatro modalidades de saber siguen existiendo y es posible distinguirlas entre sí (p. 143).

Para elegir entre ambos esquemas (“b” y “d”), la clave no puede estar en la imbricación de las prácticas. Estará entonces, como lo sugirieron Feenberg (2009) y Broncano (2000), en el análisis de su intencionalidad. Si puede observarse una diferencia clara en las intenciones de las prácticas científica y tecnológica, y también una clase de entidades que haya sido producto de las intenciones inherentes a ambas prácticas, entonces el esquema indicado será el esquema “b”. Si no hay una intencionalidad diferenciada ni entidades diferenciables sino una mixtura absoluta de estas categorías, pues el esquema indicado será el “d”.

Retornando a los argumentos feenbergianos, ya se ha establecido que la separación tajante entre ciencia y tecnología resulta inadecuada, dado que a diferencia de lo que el autor planteó, la profunda relación entre las prácticas entre ellas mismas y con la sociedad hace imposible pensarlas como entidades completamente aisladas. Sin embargo, se coincide con Feenberg en que la ciencia posee una intencionalidad de búsqueda de (una versión ontológicamente debilitada de) la “verdad” que no posee la tecnología, cuya intencionalidad es más pragmática, siendo, básicamente, la búsqueda de soluciones a problemas prácticos. Así, la eficacia es un valor mucho más importante para la tecnología que el acercamiento a la verdad de las teorías científicas. Ejemplo de este razonamiento es el eficaz uso de la refutada mecánica newtoniana en problemas de balística. El razonamiento inverso pero análogo puede hacerse para la ciencia: ningún físico continúa desarrollando el marco teórico del newtonianismo a pesar de su utilidad para resolver un sinnúmero de problemas prácticos.

Bajo esta conceptualización, puede hablarse de entidades netamente científicas: si bien para su creación requirieron tecnología (ya sea en la forma artefactual o en la forma institucional/burocrática), se utilizó para su génesis alguna forma más o menos sistemática de método científico, y tiene por finalidad una aproximación a la comprensión de la realidad. Esto no excluye la presencia de valores no-epistémicos, pero sí una primacía del interés por el conocimiento por sobre el pragmatismo en la resolución de problemas.

Por otro lado, también puede hablarse de objetos netamente tecnológicos: si bien para su creación requirieron de algún soporte teórico, utilizaron alguna forma más o menos organizada de heurística ingenieril y tienen por finalidad resolver problemas. Nuevamente, los valores no-epistémicos permean profundamente esta actividad, pero la primacía es el deseo de la resolución de una cuestión práctica.

Pero, siguiendo con el razonamiento: ¿puede pensarse en un tercer tipo de entidad que haya

sido diseñada con la intencionalidad de aproximarse a la comprensión de la realidad y al mismo tiempo también de resolver problemas prácticos? ¿y que hayan sido concebidos con el uso de alguna forma de método científico y de heurística ingenieril en forma complementaria? Se argumentará que efectivamente sí existe este tercer tipo de entidad, y que aquí se enmarcan de hecho los modelos globales. Por ello, se elige como el marco de delimitación ciencia-tecnología más adecuado el propuesto por el diagrama “b” de Giuliano. En la próxima sección se trabajará en notar los elementos intencionales descritos en esta sección en los modelos globales y bajo este marco se profundizará en su dimensión valorativa.

4.2.3 *La naturaleza dual de los modelos globales*

En la sección anterior se trabajó sobre una delimitación de ciencia y tecnología que resulte adecuada para dar cuenta de la dimensión valorativa de los modelos globales, llegando a la conclusión de que se trata de prácticas diferenciables por la intencionalidad primaria de su praxis, aunque existen entidades que manifiestan al mismo tiempo ambas intencionalidades. Dentro del dominio de estas entidades de naturaleza dual, se ha incluido a los modelos globales. El objeto de esta sección será entonces justificar tal categorización, a fin de poder proceder luego a la búsqueda de los valores no-epistémicos en los modelos globales, surgidos de su esencia como objetos científicos y al mismo tiempo de su esencia como objetos tecnológicos.

Primero se explorarán los motivos para afirmar que un modelo global es una entidad científica, de carácter epistémico. Para ello el análisis se centrará en tres factores: primero, el modelado global surge enmarcado en una matriz disciplinar. Segundo, desde cierto punto de vista, los modelos globales son teorías. Tercero, hay una intencionalidad en ellos de aumento del conocimiento (o acercamiento a la “verdad”).

En el capítulo 2 de este trabajo de tesis se realizó un estudio historiográfico de corte kuhniano para demostrar que *World2*, el primer modelo global ampliamente difundido de la historia, es un ejemplar exitoso de la matriz disciplinar “Teoría de Sistemas Dinámicos” surgida tras el trabajo fundacional del *management Industrial Dynamics* (Forrester, 2013). Para esto se argumentó que la Teoría de Sistemas Dinámicos poseía todos los elementos que Kuhn (2004) en su Posdata de 1969 identifica para una matriz disciplinar: valores, generalizaciones simbólicas, modelos y ejemplares. En el capítulo 3 de este trabajo se analizaron varios otros modelos globales identificando a su vez otras matrices disciplinares como cosmovisiones guía del trabajo de modelización: el Modelo Bariloche trabaja con Optimización Dinámica, en el *WIM* la Teoría de

Sistemas Jerárquicos Multinivel, etc. Esto demuestra básicamente que para analizar cierta dimensión de los modelos globales y de la cosmovisión de los modeladores resultan adecuadas las categorías metacientíficas, lo que denota su esencia de entidad científica.

Otro motivo fuerte para pensar en los modelos globales como entidades del dominio de lo científico tiene que ver con su naturaleza epistémica. Afirieron Tolk *et al.* (2011) que “un sistema de simulación es una hipótesis ejecutable o – una vez se prueba que son válidos – una teoría ejecutable” (p. 16, trad. propia). Con esto se refiere a que los sistemas de simulación no solamente se diseñan formalizando una teoría propia de un cuerpo de conocimiento base. Así, las simulaciones de sistemas físicos no deben pensarse tan sólo como formalizaciones computacionales de teorías de la física. Todo esto considerando una noción intuitiva o pre-analítica de teoría donde se trata de “un conjunto de afirmaciones sobre un determinado ámbito de la realidad” (Diez y Moulines, 1997, p.267). Entonces, los sistemas de simulación son teorías en sí mismas, “en particular cuando las simulaciones soportan varios dominios con teorías diferentes y potencialmente competidoras” (Tolk, 2013, p.11), que trascienden a las teorías de base que integran en su código. Otro importante filósofo que apuntó en esta dirección es Eric Winsberg (2010):

La teoría puede estar en una amplia variedad de relaciones con sus aplicaciones; a veces la teoría es aplicada directamente – en un proceso que es bien capturado por la idea de derivación – y a veces el camino de la teoría a la aplicación es mucho más indirecto, con la teoría jugando sólo un rol contribuyente en generar representaciones locales de los fenómenos. Hay, consecuentemente, una categoría completa de problemas epistemológicos en las ciencias que han escapado a la atención de los filósofos, quienes se han tradicionalmente preocupado por la justificación de las teorías y no con su aplicación. (Winsberg, 2010, p. 136).

Lo que Winsberg quería propugnar es una epistemología de las aplicaciones M&S (*Modelling & Simulation*), pues no bastan las epistemologías propias de las disciplinas cuyas teorías se plasman en la simulación: esta las trasciende. Se profundizará en ello en el próximo capítulo. La matriz disciplinar computacional puede integrar de diferentes maneras las teorías disciplinares de interés (distintas cosmovisiones de modelado, distintos lenguajes de programación, distintos valores epistémicos y no-epistémicos) y esto puede dar como resultado múltiples simulaciones distintas con las mismas teorías de base. Es por eso que para Tolk *et al.* (2011) son teorías en sí mismas. Hay una imagen del mundo compleja plasmada en las simulaciones, donde las teorías disciplinares utilizadas (en el caso de los modelos globales, teorías de la economía, la demografía, la ecología y otras) son sólo una parte del todo.

Aceptando esta premisa, es posible entender la imagen planteada por Tolk *et al.* (2011) y sus consecuencias para comprender la dimensión científica de los modelos globales equiparándola al esquema hipotético-deductivo clásico defendido por Popper (ver por ejemplo, Díez y Moulines, 1997). Los modeladores globales proponen como hipótesis de cómo funciona una determinada parcela del mundo, un modelo global. Esta hipótesis se construyó integrando distintas observaciones empíricas mediante un “salto creativo”, aduciendo que una serie de consideraciones teóricas (que suman leyes científicas existentes y una batería de métodos de integración, cosmovisiones y propuestas de leyes teóricas *ad-hoc*) sería capaz de dar cuenta de la parcela de interés del mundo. De aquí pueden deducirse distintas consecuencias observacionales sobre lo que ocurrirá en un determinado momento del futuro si se cumplen algunas condiciones, y pueden contrastarse estas deducciones (que son básicamente las salidas (o *outputs*) de la simulación) con variables medidas en el mundo, y, si hay una coincidencia (dentro de un margen de aceptabilidad determinado), pues la hipótesis aumentará su grado de confianza epistémica siendo rebautizada como “teoría”. Así, podrá utilizarse para “predecir” (al menos la tendencia de) eventos futuros dentro del dominio de interés, como también para explicar determinados sucesos acaecidos en el mundo base. Siendo que los modelos globales son teorías científicas, es que se las puede reconstruir mediante el uso de una herramienta metateórica como la provista por el estructuralismo. En el capítulo 7 de este trabajo se realizará una reconstrucción racional según esta metateoría del modelo global *World2* de Jay Forrester.

El tercer argumento para sostener la científicidad de los modelos globales es su intencionalidad epistémica de aumentar el conocimiento (o acercarse a alguna forma asequible de “verdad”). Así como no se espera que una teoría científica sea definitiva y permanente, tampoco se espera que lo sean los modelos globales. Como afirma Forrester (1973) en el prólogo del primer libro sobre modelos globales,

Parece una tradición que los modelos explícitos de sistemas sociales sean acogidos por criticismos vagos acerca de su falta de perfección. En vez de eso, necesitamos alternativas igualmente explícitas con una demostración de que las alternativas llevan a un conjunto de conclusiones diferentes y más plausibles. Por proposición y contra-proposición nuestro entendimiento de los sistemas sociales puede avanzar. (Forrester, 1973, p. xi)

Entonces, se espera que por contraposición entre las salidas de un modelo global y las observaciones del mundo *target* puedan mejorarse los propios modelos, y dado que estos, *qua* teorías son “afirmaciones sobre una determinada porción de la realidad”, mejorarlos implica

mejorar la comprensión que se dispone de la realidad. En otras palabras, mejorar los modelos globales es aumentar el conocimiento disponible, acercarse a la “verdad”.

Todos estos argumentos permiten afirmar que los modelos globales son objetos de carácter científico, y por ende corresponde analizarlos con las categorías metacientíficas. Pero falta demostrar bajo qué aspectos puede afirmarse que también se tratan de objetos tecnológicos. Para ello se apelará a un argumento conformado nuevamente por tres factores: para afirmar que los modelos globales son objetos tecnológicos, hay que mostrar que requirieron para su creación un determinado cuerpo de conocimientos teóricos, una forma de heurística ingenieril y que han sido creados con una finalidad instrumental de resolución de problemas.

El primer factor a evaluar resulta muy sencillo. Cada modelo global utiliza distintos conocimientos científicos a fin de aprehender determinados aspectos del sistema mundo considerados relevantes por los modeladores. Estos conocimientos podrían pensarse como teorías, modelos, matrices disciplinares o cualquier otra unidad epistemológica de análisis, dependiendo de la concepción metateórica adoptada. Para el argumento en marras, bastará con apelar nuevamente a la idea preanalítica de “teoría” introducida con anterioridad.

Para ilustrar esto, será suficiente con notar las teorías utilizadas en algunos modelos globales. En el caso del más popular de ellos, *World3* del grupo Meadows, los algoritmos de código que evalúan las fluctuaciones poblacionales están basados en una popular teoría de la demografía denominada “Teoría de la Transición Demográfica”, desarrollada en la década de 1920 por Warren Thompson (Bardi, 2011). Otros submodelos están pensados mediante ecuaciones exponenciales avaladas por la Teoría de Sistemas Dinámicos de Forrester, parametrizadas a través de datos empíricos y organizados según distintas nociones de las ciencias sociales y naturales (aparecen términos de la economía como “capital industrial” y “amortización”, términos de la físico-química como “vida media de un agente químico”, términos de las ciencias agrarias como “erosión y regeneración de los suelos”, etc.). El conjunto de nociones científicas, ordenadas según la teoría de mayor nivel “Teoría de Sistemas Dinámicos”, y formalizadas a través del lenguaje de programación matemático-computacional DYNAMO (migrada posteriormente al más moderno Stella) conforma el todo teórico del modelo global.

Todo este cuerpo de conocimiento ha sido ensamblado según una forma más o menos ordenada de heurística ingenieril, análoga a la que podría utilizarse para construir una máquina. Jay Forrester, al plantear su modelo *World2*, tomó varias teorías y las integró con su Teoría de Sistemas Dinámicos, pero requirió a su vez el diseño de un lenguaje de programación específico (el cual había sido realizado para su obra *Industrial Dynamics* en 1961). Este lenguaje de programación, DYNAMO, permitió la integración de estas teorías en un programa informático que debía ser

compatible con la tecnología computacional de la época, correr sin errores lógicos, consumir en la ejecución de las operaciones matemáticas una cantidad aceptable de recursos de *hardware*, realizar las corridas en un tiempo razonable para que sea útil y poder expresar la información de salida en un formato gráfico que resultara apto para poder comprenderse. Todos estos requisitos no son de orden científico sino tecnológico, puesto que son independientes del valor de verdad que podrían tener las salidas de las corridas del modelo, y son fundamentales para poder funcionar y utilizarse con algún fin. El logro de tales objetivos requiere cierta metodología (heurística) ingenieril propia del proceso de diseño (que como se ha visto en la sección anterior, Joseph Pitt contrastaba con el método científico), donde lo importante no es la racionalidad propia de las ciencias de “acercamiento a la verdad”, sino, simplemente, conseguir que el *software* en cuestión funcione bajo ciertos estándares de aceptabilidad (es decir, que sea eficaz y eficiente). Esta heurística prácticamente nunca es aplicada por los diseñadores en forma completamente sistemática (así como tampoco los científicos lo hacen con el o los métodos científicos), aunque sí sirven de guías para el trabajo. En el caso del *software*, es común que especialistas que desconocen las teorías disciplinares integradas en la aplicación M&S sean los encargados de aplicar las heurísticas para lograr los resultados en cuestión (ver Meadows *et al.*, 1983).

Algunos pasos metodológicos que suelen realizarse a la hora de diseñar *software* implican la selección del tipo de paradigma de programación (por ejemplo orientado a objetos, basado en reglas, etc.) y el lenguaje (por ejemplo DYNAMO), la estructura sintáctica que se utilizará en el programa, la cantidad de cifras significativas a considerar para las variables (donde debe lograrse un compromiso entre precisión de cálculo y recursos informáticos invertidos en su procesamiento), los métodos numéricos de resolución de ecuaciones, etc. (ver Alonso Amo *et al.* 2005).

En cuanto a las finalidades de los modelos globales, está claro que una de ellas es instrumental: además de la búsqueda de aumentar conocimiento que ya se ha mencionado, en todos los casos explícitamente aparece la intencionalidad de funcionar como herramientas pensadas para la toma de decisiones políticas, en la búsqueda de mejorar el estado del mundo en el futuro. Meadows *et al.* (1972) afirmaron que

El propósito de World3 es determinar cuál de los modos de comportamiento (...) es más característico de la población del mundo y de sus salidas materiales bajo diferentes condiciones e *identificar las políticas futuras que pueden llevar a un modo de comportamiento más estable* (p.8, énfasis propios).

Por otro lado Mesarovic *et al.* (1974) plantearon:

Esperamos aportar a los tomadores de decisiones políticas y económicas en varias partes del mundo con una

herramienta comprehensiva de planificación global, la cual puede ayudarles a actuar anticipadamente a la crisis que se halla en nuestra puerta (...) (p. ix).

Y Herrera *et al.* (2004):

El modelo que aquí se presenta es explícitamente normativo; no se ocupa de predecir qué ocurrirá si continúan las tendencias actuales de la humanidad, sino de señalar una manera de alcanzar la meta final de un mundo liberado del atraso y la miseria (p. 30).

Esta concepción del modelo global como herramienta para la toma de decisiones se repite en otros grupos modeladores. Así es que es posible afirmar su intencionalidad resolutive y su carácter tecnológico derivado, pues cumplen con los criterios propuestos a tal fin.

Ahora que se ha argumentado que los modelos globales poseen una naturaleza dual de objetos científicos y al mismo tiempo tecnológicos, se abordará el análisis de la dimensión valorativa. ¿Cómo impactan los valores no-epistémicos en la ciencia? ¿Y cómo lo hacen en la tecnología?

4.2.4 *Los valores no-epistémicos en la ciencia y la tecnología*

En este capítulo se ha trabajado sobre la ontología de los modelos globales para argumentar que presentan al mismo tiempo una naturaleza de entidad científica y una de entidad tecnológica, es decir, su naturaleza es dual. Esta estrategia argumental apuntaba a elucidar esta cuestión bajo la premisa de que los valores no-epistémicos (ideológicos, económicos, sociales, éticos, etc.) impactaban de manera distinta en las prácticas científicas y tecnológicas. En esta sección se analizará este modo de impacto para ambas prácticas.

La cuestión de los valores en ciencia ha sido abordada por múltiples autores con distintas perspectivas. Un texto actual que rescató y discutió varias de éstas es el de Ricardo Gómez (2014). Allí comenzó delimitando el problema, tomando como primera medida la distinción de la ciencia en contextos:

Así es estándar hoy diferenciar entre contexto de descubrimiento, que involucra todas las actividades y procedimientos conducentes a hallar y proponer nuevas hipótesis; contexto de prosecución, en el que se procede para establecer si es pertinente y valioso continuar con una línea de investigación y desechar otras alternativas; el contexto de justificación, usualmente caracterizado como compuesto por las razones para aceptar o rechazar hipótesis y teorías científicas; y el contexto de aplicación, constituido por todo aquello que

tiene que ver con el uso práctico de una propuesta científica en una determinada área de la actividad humana. (p. 13)

A estos contextos podría agregarse otro, el contexto de implicación:

¿qué implicancias pueden preverse a partir de lo que estamos haciendo a futuro? ¿qué posibilidades y caminos hay para disminuir la distancia entre objetivos y realidades en la relación CTS [ciencia, tecnología y sociedad]? Estas preguntas afectan la relación entre lo epistemológico, lo ético y lo político. A este contexto de discusión lo denominamos contexto de implicación. (Tula Molina *et al.*, p. 76).

Afirmó Gómez que la respuesta estándar-ortodoxa es que la ciencia posee valores no-epistémicos en todos los contextos, excepto en el contexto de justificación.

Esto significa que hay un método universal (único y permanente en el espacio y en el tiempo) para contrastar hipótesis y teorías científicas, y establecer su aceptación. Usualmente, esto se hace mediante procedimientos mecánicos que requieren un número finito de pasos y que idealmente, toman la forma de algoritmos o fórmulas cuantificables de decisión, capaces de decidir la aceptación o el rechazo de tales teorías sobre la base de las mejores razones. A su vez, éstas están exclusivamente constituidas por la buena lógica y la confiable evidencia empírica. (p. 14).

Es sencillo notar en la intencionalidad de comprender aspectos que hacen al bienestar de las personas a fin de mejorarlo, un valor ideológico explícito en los distintos modelos globales. Pero se trata del contexto de descubrimiento, momento en que modeladores proceden a buscar e integrar las que consideran las mejores teorías disponibles para conformar el todo teórico que es el modelo global. Este mismo valor altruista impregna los contextos de prosecución, aplicación e implicación. Pero resulta algo más complejo ver cualquier tipo de valor no-epistémico (es decir, no limitado a la búsqueda de un aumento en el conocimiento) en el contexto de justificación. Es allí, en el momento en que se decide si un modelo global da cuenta correctamente de la parcela de realidad que desea aprehender, donde yace el núcleo de la controversia.

Gómez identificó a algunos de los filósofos del Círculo de Viena, como Rudolph Carnap, Otto Neurath y Philipp Frank, entre los defensores de la presencia de factores de corte subjetivo en la justificación de enunciados, desmintiendo la versión oficial de que los neopositivistas sostenían la inexistencia de valores no-epistémicos en el contexto de justificación. Gómez aseveró que esta versión estándar ha sido creada deliberadamente para restar importancia a la fuerte politización de los primeros autores neo-positivistas pintando a dicho movimiento como

(...) apolítico, solo interesado en cuestiones abstractas lógico-matemáticas, totalmente indiferente al marco histórico y político de la producción científica y a la posible incidencia de los resultados de dicha producción en el contexto correspondiente. Nada más alejado de la verdad (...). (p. 22)

En su obra, Gómez repasó los argumentos de varios otros defensores de la existencia de valores en todos los contextos científicos, como Paul Feyerabend, Thomas Kuhn, y Philip Kitcher, entre otros, como así también los argumentos de los que sostienen un ideal de ciencia neutral, como Karl Popper, Imre Lakatos y, en forma mucho más sutil, Hugh Lacey. Del análisis de estos (y otros) autores concluyó, en forma contundente, que la ciencia no es neutral en ninguno de sus contextos, en todos ellos se halla preñado de valores no-epistémicos. Incluso en el contexto de justificación.

El argumento puede resumirse en que

En el pesaje de los errores deben tomarse en cuenta las consecuencias no cognitivas que siempre están presentes. Por lo tanto, los valores no cognitivos intervienen en las decisiones internas de la práctica científica; es decir, las consecuencias ligadas a los valores no cognitivos forman parte de la evidencia a partir de la cual los científicos toman decisiones. De otro modo: (1) un objetivo central de la investigación científica es decidir si aceptar o rechazar hipótesis (teorías); (2) las decisiones acerca de aceptar o rechazar hipótesis (teorías) deben depender en parte de valores no cognitivos acerca de los costos de aceptar la hipótesis cuando es falsa y rechazarla cuando es verdadera; (3) por lo tanto, los valores no cognitivos influyen sobre la argumentación científica. (p. 136).

Los valores y la aceptación de una evidencia, por ende, están inextricablemente unidos. La decisión de aceptar un determinado modelo global como válido para producir conocimiento sobre los aspectos socio-económicos del sistema mundo, por ende, se hallan impregnados por los valores ideológicos del grupo modelador. Esto no significa que no haya criterios lógicos presupuestos en la metodología diseñada para la validación, sino que la propia estructura del diseño y su aceptación está influida en forma contundente por lo que pretenden sus creadores conseguir con el modelo.

Acerca de la cuestión de la presencia de valores en la tecnología, también existe disidencia: hay por un lado autores que sostienen que la tecnología es intrínsecamente neutral y que depende del usuario de la misma, portador de valores ideológicos, su uso con fines determinados (idea denominada “teoría del martillo”, como ejemplo de herramienta que puede utilizarse alternativamente con un fin constructivo o destructivo). Y por otro lado autores que sostienen que los valores impregnan de manera esencial a la tecnología y como consecuencia la misma constituye un nuevo sistema cultural que reestructura (de forma dramática) el mundo en que vivimos. Feenberg (2012) clasificó estas dos visiones como la instrumental y la sustantiva respectivamente. El autor resumió la tesis instrumental en los siguientes puntos:

1. La neutralidad de la tecnología no es más que un caso especial de la neutralidad de los medios instrumentales, los cuales se relacionan solo de modo contingente con los valores sustantivos a los que sirven. La tecnología, como pura instrumentalidad, es indiferente a la variedad de fines para los cuales puede usarse. Esta concepción de la neutralidad es familiar y autoevidente.
2. La tecnología también parece indiferente con relación a la política, al menos en el mundo moderno, y especialmente con respecto al capitalismo y al socialismo. Un martillo es un martillo; una turbina a vapor, una turbina a vapor; y estas herramientas son útiles en cualquier contexto social. En este sentido, la tecnología parece ser diferente de las instituciones religiosas o legales, que no pueden transferirse fácilmente a nuevos contextos sociales, dado que están muy entrelazadas con otros aspectos de las sociedades en las que se originaron. La transferencia de tecnología, por el contrario, parece estar limitada solo por su costo.
3. La neutralidad sociopolítica de la tecnología se atribuye usualmente a su carácter “racional”, es decir, a la universalidad de la verdad que tiene incorporada. Las proposiciones causales verificables sobre las que se basa no son dependientes ni social ni políticamente; al igual que las ideas científicas, mantienen su estatus cognitivo en todo contexto social concebible. Es por ello que se supone que lo que funciona en una sociedad funcionará igualmente bien en otra.
4. La tecnología es neutral porque se sostiene justamente en la misma norma de eficiencia en todo contexto. Por consiguiente, su universalidad significa también que se le pueden aplicar los mismos criterios de medición en diferentes configuraciones.(...) (p.24-25).

Esta noción neutralista es la más intuitiva, “especialmente notoria en las ciencias sociales” (*id.* p. 26), y sostenida por múltiples autores relevantes, como el brillante John Von Neumann quien afirmara que “la tecnología – como la ciencia – es completamente neutral, proveyendo solo medios de control aplicables a cualquier propósito, indiferentes a todo” (Dorf, 1974, p. 159).

En cuanto a los sustantivistas, los más resonantes analizados por Feenberg son Jacques Ellul y Martin Heidegger. La tesis es resumida

[En el instrumentalismo] la transición entre la tradición y la modernidad se juzga como progreso mediante un criterio de eficiencia inherente a la modernidad y ajeno a la tradición. La teoría sustantiva de la tecnología pretende que tomemos conciencia de la arbitrariedad de tal construcción, o al menos de su carácter cultural. La cuestión no es que las máquinas “tomaron el control”, sino que al elegir usarlas hicimos una cantidad de compromisos poco inteligentes. La tecnología no es simplemente un medio sino que se ha convertido en el entorno de nuestro modo de vida. (p.27-28).

Entre la postura instrumental de que los valores son externos a la esencia tecnológica y la postura sustantiva que considera que la tecnología se ha tornado en un valor esencial que moldea nuestro modo de vida, hay numerosas posturas intermedias, que consideran que los valores forman

parte del diseño tecnológico y por ende siempre es posible que las personas los modifiquen para mejorar su capacidad de crear una sociedad mejor.

Mario Bunge advirtió que existen tecnologías inherentemente “malvadas”,

(...) la tecnología se ocupa de la acción humana sobre cosas y personas. Esto es, la tecnología da poder sobre cosas y seres humanos, y no todo poder es bueno para todos. Basta pensar en la tanatología, o tecnología de la muerte: el diseño de estrategias y tácticas de agresión, de armamento y defoliantes, de campos de exterminio, etc. Todo esto es intrínsecamente nulo según cualquier código moral excepto el de los asesinos de masas. Y cualquiera que sea el resultado colateral beneficioso, es muchísimo menos que sus efectos nocivos: la destrucción de vidas humanas, la desintegración de lazos familiares y de amistad, el aumento de la agresividad, la violencia y la insensibilidad, y la mutilación del ambiente. (2011, p.111)

lo que resulta útil como argumento contra la idea de neutralidad tecnológica. Para analizar la forma explícita de pervasividad de los valores ideológicos en la tecnología, se considerará el marco de Feenberg, parte de su Teoría Crítica de la Tecnología.

Aquí, el concepto clave para comprender dicho marco es el de “código técnico”:

Los requerimientos capitalistas, tanto técnicos como sociales, están condensados en una “racionalidad tecnológica” o “régimen de verdad”, el cual hace que la construcción y la interpretación de los sistemas técnicos estén en conformidad con los requerimientos de un sistema de dominación. Llamaré a este fenómeno el código social de la tecnología o, de modo más breve, el “código técnico” del capitalismo. Desde esta perspectiva, la hegemonía capitalista es un efecto de ese código. (2012, p. 126).

Los códigos técnicos operan a varios niveles de generalidad. Los códigos más generales yacen en principios como la tendencia secular a restar habilidades al trabajo a través del avance técnico. Códigos específicos determinan el significado de artefactos particulares.

En todos los casos, el código técnico describe la congruencia de una demanda social y de una especificación técnica. El proceso de traducción une a los dos en el curso de la evolución de los objetos técnicos. (Feenberg, 2013, p. 151).

A su vez, Feenberg distinguió dos niveles epistémicos distintos de la tecnología para un análisis integral de su esencia: dos tipos de instrumentalización.

La instrumentalización primaria es la orientación técnica hacia la realidad que Heidegger identificaba como el “modo de revelación tecnológico”. Sin embargo (...), lo técnico implica no solo una orientación sino también una acción en el mundo, y esa acción está por completo condicionada socialmente. De ahí la

necesidad de una teoría de las instrumentalizaciones secundarias mediante la cual el esqueleto de la instrumentalización primaria toma cuerpo y peso en dispositivos y sistemas concretos en un contexto social. (2012, p. 272).

Mediante esta distinción, Feenberg buscó combinar “las concepciones esencialistas sobre la orientación técnica hacia el mundo con las concepciones críticas y constructivistas sobre el carácter social de la tecnología” (p. 273). Así, la dimensión del diseño tecnológico enfatizada como la única importante en la educación formal de los ingenieros deja de ser la única en el foco de análisis para sumar otra dimensión que incluye la influencia de la sociedad en el diseño y del diseño en la sociedad. Ambas dimensiones se interrelacionan en forma dialéctica conformando la esencia del objeto tecnológico, y el sesgo causado por esta interrelación se halla inscripto en el código técnico que implícitamente se permea en las heurísticas de diseño ingenieril. Así pues, el código técnico es el *locus* donde deben rastrearse los valores no-epistémicos que se filtran en el diseño de las tecnologías en general, y por ende es aquí donde debe analizarse la presencia de dichos valores en los modelos globales.

La próxima sección analizará distintos aspectos históricos de la controversia acaecida entre el grupo de modeladores Meadows del MIT y su modelo *World3* y el grupo de modeladores Herrera de la Fundación Bariloche y su modelo Latinoamericano. Así, se procederá a buscar indicios históricos de la manifestación de los valores no-epistémicos en el diseño y justificación de los modelos globales, a fin de observar cómo permean a los modelos globales *qua* entidades científicas y en forma diferente pero complementaria, cómo los permean *qua* entidades tecnológicas.

4.3 Análisis valorativo de la controversia *World3* vs. Bariloche

En primer lugar se analizarán aquellos elementos históricos que soporten la tesis de la presencia de valores no-epistémicos en las entidades científicas, en todos los contextos de la práctica (particularmente en el más polémico: el contexto de justificación).

Han existido múltiples puntos de disidencia entre los enfoques del Grupo Forrester/Meadows y el Grupo Bariloche. Hay varios de estos puntos que son de orden técnico y metodológico. Estos están resumidos en Scolnik (1973) y (1979), y tienen que ver principalmente con objeciones de índole matemática contra el lenguaje de programación DYNAMO utilizado en los modelos *World* y su implementación, que terminan derivando en una sensibilidad extrema de ciertas variables a pequeños cambios en los parámetros (es decir, una alta sensibilidad). No se

trabajaré en esta sección sobre este tipo de objeciones, sino sobre aquellas que revelen divergencias en los valores no-epistémicos de ambos grupos.

En el capítulo anterior de este trabajo de tesis se han mencionado algunos de los motivos de la polémica al revisar el contexto histórico de la creación del Modelo Mundial Latinoamericano, dado que este se había creado explícitamente como respuesta al fogueado por el Club de Roma: el hecho de plantear seriamente la posibilidad de “predecir el futuro” mediante un modelo matemático, el asumir que estamos yendo hacia una catástrofe en vez de pensar que el presente ya es catastrófico, y el proponer el “crecimiento cero” mediante políticas que perpetúan el *status quo* de desigualdad internacional.

El matemático del grupo Bariloche, Hugo Scolnik (1979) explicó que un modelo global es

(...) un discurso estructurado compuesto de dos partes principales; el modelo teórico y el modelo formal. El modelo teórico está estructurado desde el marco teórico en el cual el modelo global está embebido a través de un esfuerzo de teorización *ad hoc*. Luego, se asume que existe una homología entre el modelo teórico y la realidad. Entonces, es un discurso sobre la realidad (p. 58).

Luego Scolnik definió al modelo formal como un discurso sobre el modelo teórico, al cual se llega mediante un proceso de cuantificación y formalización. Esta definición tiene la ventaja de mostrar zonas sensibles para el análisis de los modelos globales: a la hora de la validación ha de chequearse bien la evidencia sobre la homología entre el modelo formal y el teórico (en otras palabras, si el lenguaje de programación y el proceso de matematización han capturado aquello propuesto por los modeladores en el modelo teórico) y la homología entre el modelo teórico y la base empírica (es decir, si la teoría que tienen en mente los modeladores sobre una determinada parcela de la realidad captura los aspectos relevantes de la misma). No cabe duda de que existen múltiples dimensiones en donde la cosmovisión ideológica de los modeladores pueden filtrarse, especialmente en la conformación del modelo teórico. Sobre esto mencionó Scolnik:

El punto esencial a ser tomado en cuenta es que un modelo global es un discurso normativo. En otras palabras, el modelo, en todos los niveles de su discurso está estructurado desde una normatividad asumida que aparece en el discurso final. En el nivel descriptivo, la normatividad impone condiciones acerca de la selección de variables, y los presupuestos de relevancia y pertinencia. En el nivel explicativo, la normatividad está implícita en las hipótesis sobre los criterios de causalidad y relaciones entre variables. En el nivel predictivo, la normatividad limita el espectro de las trayectorias esperadas. En el nivel metateórico, la concepción global del trabajo modelístico está teñido de normatividad.

Cualquier crítica de los modelos globales existentes deben necesariamente ser consideradas dentro del contexto epistemológico explicitado. *En este sentido, estar de acuerdo o no con los mensajes normativos*

explícitos o implícitos de un modelo es un problema de juicio de valor, y depende de la visión socio-política del mundo (p. 59, énfasis propios).

Puede notarse la coincidencia entre la postura de Scolnik y la postura defendida por Gómez (2014) que se ha revisado en la sección anterior. Si el modelo global es un discurso normativo, entonces el contexto de justificación de la práctica científica, que da como resultado la conclusión acerca de la validez de un modelo global, consiste en verificar la homología entre el modelo teórico (*locus* primario de valores no-epistémicos) con el modelo formal por un lado, y por el otro con la base empírica (base que desde las tesis de Hanson (1958) sabemos teñida de carga teórica). Esto implica necesariamente que los modelos globales, que como se argumentó en este capítulo son esencialmente teorías, serán válidos para sus modeladores sí y solo sí se logra un grado de homología aceptable entre los tres niveles (base empírica, modelo teórico, modelo formal). Esto será de esta manera sí y solo sí los valores no-epistémicos que conformaban el modelo teórico se han trasladado correctamente hacia los otros niveles: el código informático debe ser un espejo de la cosmovisión teórico-valorativa de los modeladores, y a su vez, la base empírica (o al menos tal como es vista por los modeladores) debe mostrar también tal homología. Esto último no implica necesariamente una visión antirrealista, sino el hecho de que la carga teórico-valorativa de los individuos incide sobre aquello que se ve como relevante en el mundo (y en última instancia, lo que se ve).

Así, puede afirmarse que preferir un modelo global es preferir una visión del mundo. Luego, lo que deberían hacer los modeladores a fin de facilitar la tarea de los usuarios es explicitar de la manera más clara posible los presupuestos detrás de cada decisión técnica asumida a la hora de conformar los modelos teóricos y formales que estructuran al modelo global. Esto se vuelve crítico si se pretende que el conocimiento que se logre mediante su uso sea utilizado para planificar políticas nacionales e internacionales.

En el capítulo anterior, al mencionar las características de *World3* y las polémicas ocurridas tras su publicación, se había hecho hincapié en el carácter contradictorio de ciertos párrafos dentro de *Limits to Growth* (Meadows *et al.*, 1972), donde convivían pasajes hablando del carácter exploratorio de los modelos globales, solamente capaces de marcar ciertas tendencias, con otros pasajes de carácter catastrofista, especialmente en su contratapa, donde “la computadora” predecía para los nietos de los lectores un futuro distópico digno de la ciencia-ficción más *noir*.

En la contratapa de *Limits to Growth* “la computadora” parecía ser un ente dotado de capacidad de cálculo infinita, cual demonio de Laplace, y privada de todo juicio de valor (y por ende objetiva más allá de toda duda). Así, bajo el auspicio de “la computadora”

Podemos decir con confianza que, bajo el presupuesto de que no haya mayores cambios en el sistema presente, el crecimiento poblacional e industrial se detendrá *ciertamente* dentro del próximo siglo, como mucho. (p. 126, énfasis propios).

No puede condenarse el hecho de que los modeladores hayan revelado las conclusiones de su investigación tal como las interpretaron, sino el hecho, particularmente grave en una publicación apuntada a un público no-técnico, de escudarse en una concepción neutralista de la ciencia que propone a una tecnología particular como objeto de una falacia de apelación a la autoridad, mientras oculta en el camino sus propias concepciones ideológicas.

En contraste, el Grupo Bariloche efectuó un esfuerzo consciente por explicitar sus valores ideológicos y cómo los mismos habían impactado en la creación del Modelo Mundial Latinoamericano. De hecho, *Catástrofe o Nueva Sociedad* comenzaba con estas palabras:

Cualquier pronóstico a largo plazo sobre el desarrollo de la humanidad se funda en una visión del mundo basada en un sistema de valores y en una ideología concreta. Suponer que la estructura del mundo actual y el sistema de valores que la sustenta pueden ser proyectados sin cambios hacia el futuro, no es una visión "objetiva" de la realidad, como a veces se sostiene, sino que implica también una toma de posición ideológica. Por eso, la diferencia que suele establecerse entre modelos proyectivos y normativos a largo plazo es esencialmente falaz.

El modelo que aquí se presenta es explícitamente normativo; no se ocupa de predecir qué ocurrirá si continúan las tendencias actuales de la humanidad, sino de señalar una manera de alcanzar la meta final de un mundo liberado del atraso y la miseria. No pretende ser "objetivo" en el sentido valorativamente neutro con el que frecuentemente se usa esa palabra; representa la concepción del mundo que comparten sus autores y con la cual se hallan profundamente comprometidos. Es objetivo, sí, en el sentido que parte de una visión realista y descarnada de los problemas del mundo actual, y trata de encontrar soluciones basadas en la capacidad de cambio y creación tantas veces demostrada en el pasado por la sociedad humana (Herrera *et al.* 2004, p. 30).

En tal sentido, no puede negarse el fundamental valor del trabajo del Club de Roma en un contexto de importancia creciente de la temática medioambiental en la agenda política de los países, y resulta fructífero aún hoy continuar las discusiones sobre la base del mismo. De hecho, *Limits to Growth* fue continuado con actualizaciones sobre el modelo *World3* en Meadows *et al.* (1992) y (2002). Pero, bajo el marco epistemológico sostenido en este trabajo, la visión "objetivista" que supuestamente aportaría la Teoría de Sistemas Dinámicos de Jay Forrester al análisis sobre el funcionamiento socio-económico y natural del mundo no puede aceptarse, pues depende esencialmente de los criterios no-epistémicos de los modeladores.

De aquí se desprende que es necesario establecer explícitamente los valores de los autores y los propios antes de proceder a analizar cualquier trabajo científico para facilitar la tarea de una comprensión global del mismo.

Ugo Bardi (2011), miembro del Club de Roma, defendió a los Meadows de los ataques del Grupo Bariloche mediante un contraataque:

Otros estudios y documentos basados en el modelado mundial no fueron esponsorados directamente por el Club de Roma, pero fueron inspirados en el estudio *Limits to Growth*. (...) Entre estos estudios, por ejemplo, en 1977, Amílcar Herrera, de la Fundación Bariloche de Argentina, utilizó *dinámica de sistemas* para estudiar el futuro de la economía latinoamericana. Este trabajo intentó refutar las predicciones de colapso del estudio *Limits to Growth* pero, a pesar de algunos presupuestos optimistas en la entrada, el desarrollo de escenarios convincentes de este tipo no fue posible (p. 47, énfasis propios).

Esta sintética mención no parece alcanzar para defender al grupo Meadows de las objeciones de los latinoamericanos. Herrera no utilizó “dinámica de sistemas” (la Teoría de Sistemas Dinámicos de Forrester) sino Optimización Lineal (la teoría creada por George Dantzig), y Bardi no explica por qué los escenarios del grupo Bariloche no serían convincentes (o por qué los expuestos por *World3* serían más convincentes que los de Herrera). Una lectura desinformada del párrafo parecería señalar que las objeciones del grupo Bariloche sobre *World3* tenían que ver con las salidas del modelo, cosa completamente falsa. Como se ha visto, las objeciones de índole técnica tenían que ver con problemas en el lenguaje de programación utilizado, y las ideológicas sobre la concepción neutralista propuesta y sobre la aseveración de la necesidad de una parálisis al crecimiento que conllevaría al perpetuamiento del *statu quo* con la enorme diferencia entre las naciones desarrolladas y las subdesarrolladas.

Esto muestra otro nivel en que la tesis de Gómez se manifiesta: Bardi defendió a *World3* sobre la base de estudios de correspondencia entre los resultados arrojados por el modelo en su corrida estándar “*business as usual*”, como el efectuado por Turner (2012) (y refutado poco después por Castro, 2012). Además, utilizando la terminología “militar” de Latour (1992) Bardi “reclutó” a sus aliados (aquellos como el ya mencionado economista Robert Townsend que defendieron la importancia de los modelos *World*) y también a sus enemigos (aquellos que publicaron notas en contra de los *World*, como los también mencionados Bailey y Passel *et al.* ... los cuales expusieron sus argumentos en revistas no-académicas¹). En este sentido también operó mencionando someramente y minimizando la importancia de las agudas críticas del Grupo Bariloche, y algunas otras de importancia.

¹ Ver capítulo anterior de este trabajo de tesis.

Bardi nunca refirió a la posibilidad de que los valores no-epistémicos puedan afectar la visión de la base empírica, el modelo teórico ni la formalización. Pero de hecho los modeladores del grupo Bariloche son muy explícitos al afirmar que la idea de proyectar la estructura del presente hacia el futuro es una posición ideológica en sí misma, así como la idea de optimizar una determinada variable (la esperanza de vida al nacer) en la construcción teórica de una sociedad ideal también lo es. Sólo que en un caso no se explicita.

Galtung (1973) afirmó que el modelo de Forrester (*World2*) está enfocado en las preocupaciones ideológicas de los afluentes suburbanos como la superpoblación y la polución, en contraste con las preocupaciones típicas del tercer mundo, como la malnutrición, el desarrollo económico equitativo, la opresión política, etc. Esta afirmación podría extenderse a *World3* por poseer en esencia la misma estructura.

Scolnik (1979) agregó los siguientes puntos que denotan la permisividad de la ideología en la estructura técnica de los modelos globales de los modeladores del MIT:

- a) considerar al mundo como un todo esconde las enormes desigualdades entre países (para ser justos, lo mismo pasa a un nivel inferior con cualquier división del mundo en regiones, un hecho que no parece posible evitar).
- b) el uso de una función de producción que sólo depende del capital tiene implicaciones obvias.
- c) la mayoría de las relaciones son completamente arbitrarias y no están basadas en datos o cualquier justificación científica (p. 60).

y sobre la solución propuesta a los problemas mundiales alcanzados a través del uso de los modelos:

Para buscar maneras de evitar la catástrofe, ellos realizan corridas alternativas, encontrando que una política de crecimiento-cero era la “única” solución. Por supuesto, adoptar dichas políticas a una escala global significa que los países pobres deben permanecer en condiciones miserables por siempre (*id.*, p.60).

Hayward Alker, científico político del MIT fue aún más contundente con sus compañeros de institución, pues afirmó que “el modelo Forrester-Meadows refleja la ideología de la clase media-alta que vive en los suburbios ricos de las ciudades de Estados Unidos” (en Scolnik, 2004, p. 20).

Si dichas aseveraciones son consideradas correctas, puede notarse como la “buena lógica” debe ser necesariamente acompañada por los valores no-epistémicos en el contexto de justificación de un modelo global. Así, ni los modeladores del MIT, ni los de Bariloche, ni ningún otro hubieran aceptado un modelo que mostrara un mundo alejado de sus expectativas ideológicas.

4.4 Conclusiones

Los elementos y testimonios históricos han mostrado la forma en que los valores no-epistémicos se han permeado en los modelos globales *qua* objetos científicos en todos los contextos de la práctica del modelado, aunque por ser el *locus* de las polémicas, el análisis se ha centrado en el contexto de justificación. Es decir, se ha mostrado cómo los valores de orden económico, social e ideológico se suman a los valores netamente epistémicos (como puede ser la exactitud, la simplicidad y la fiabilidad entre otros) a la hora de decidir si un modelo se acepta o se rechaza.

Los mismos elementos de análisis pueden considerarse para observar cómo los valores permean a los modelos globales *qua* objetos tecnológicos, según el marco teórico propuesto por Feenberg que se ha introducido en la sección anterior.

Es evidente que, como parte de un criterio técnico de aceptación de un modelo global, además del acercamiento a una versión propia de los modeladores de la “verdad” que se ha observado como constitutiva de su esencia científica, aparece alguna forma de eficiencia. La eficiencia técnica puede entenderse como una relación entre el grado de cumplimiento del objetivo del modelo y la cantidad de recursos insumidos por el proceso.

Los modeladores, como todo tecnólogo, desean que sus creaciones, en este caso los modelos globales, sean eficientes. Deben cumplir su objetivo de tomar ciertos datos de entrada, procesarlos y arrojar datos de salidas útiles para que los usuarios puedan tomar con ellos decisiones políticas importantes con cierta confianza. Pero todo esto debe hacerse con la tecnología informática disponible, con el personal científico y técnico disponible, en una cantidad de tiempo aceptable y fundamentalmente a un costo lo más bajo posible. Todos estos requerimientos están instanciados en la instrumentalización primaria de los modelos globales. Pero no son los únicos criterios que orientan la esencia de los mismos.

Mencionó Feenberg (2012) que

La carpintería implica percibir la madera como un recurso y captar las posibilidades que le ofrece. En un lenguaje fenomenológico, podríamos decir que el mundo se le revela al carpintero como recurso, como posibilidades. Sin esta instrumentalización primaria de la madera nadie habría pensado en hacer un serrucho, pero un serrucho no es solamente una “aplicación” de una orientación técnica hacia la madera. Antes bien, es un objeto concreto producido en una sociedad específica de acuerdo con una lógica social. Incluso hechos tan básicos del diseño del serrucho, como si cortará en el envión o en el tirón, son socialmente relativos. Para entender la forma del serrucho, su manufactura, su estatus simbólico, etcétera, necesitamos más que una teoría de la orientación técnica. Por otra parte, dicha teoría no nos dirá qué pasa con las personas cuyas vidas estén dedicadas a trabajar la madera, cómo esa actividad dará forma a sus manos, sus reflejos, su lenguaje y

su personalidad de modo tal que tenga sentido llamar carpintero a alguien. Todas estas son instrumentalizaciones secundarias inseparables de la esencia de la tecnología (p. 273).

Análogamente al serrucho feenbergiano, puede notarse como los modelos globales tienen por pretensión no sólo funcionar en forma eficiente bajo el contexto-tecnológico social para poder aportar consejos fiables para la transformación social. A través de dicho mecanismo, hay una intencionalidad, instanciada en su instrumentalización secundaria, de que dicha transformación social sea de la clase preferida por los modeladores (implícita o explícitamente) y no otra. Por ello, la aceptación o rechazo de los modelos globales podría pensarse como un proceso de dos partes: primero, debe creerse en que si se crean políticas basándose en ellos, el mundo evolucionará de la manera en que se dice que va a evolucionar. Segundo, debe haber una convicción profunda en que el mundo objetivo que propone el modelo global es el mismo mundo objetivo que desea el usuario.

Esto lleva a concluir que es menester la explicitación de los valores ideológicos de los modeladores a fin de evaluar los modelos globales y validarlos. El código técnico de los mismos no debe existir ya como una entidad implícita abstracta dentro de un marco teórico filosófico, sino que debe concretizarse a fin de que la herramienta se vuelva realmente confiable para los usuarios. Si estos usuarios serán nada más y nada menos que políticos de alto nivel, el código técnico no sólo debe ser explicitado con claridad sino que debe ser asimismo sometido a consideración por los ciudadanos, ya que serán los afectados por las políticas derivadas del uso de los modelos.

Capítulo 5: Epistemología, ontología y teleología de los modelos globales

5.1 Introducción

En el presente capítulo se profundizará sobre algunas nociones propuestas en los últimos años sobre la filosofía de las aplicaciones M&S (*Modeling and Simulation*). Esta filosofía especial de la ciencia surgió en los últimos años en busca de un marco metateórico para un dominio disciplinar que posee amplias aplicaciones industriales, políticas y militares. Es desde dichos lugares que se estimuló la reflexión filosófica que pudiera dar soporte al trabajo científico sobre las aplicaciones M&S (Tolk, 2013). El marco metateórico construido al día de hoy es de grano grueso, y no implica el abandono o reemplazo de las filosofías referenciales (es decir, las correspondiente al dominio disciplinar modelado, en el caso de los modelos globales principalmente la economía) ni de la filosofía de las simulaciones informáticas (surgidas desde el seno de la comunidad epistemológica desde las obras de Paul Humphreys, Eric Winsberg y Margaret Morrison, entre otros). Estas filosofías especiales de la ciencia siguen resultando importantes y muy necesarias.

En particular, según Hofmann (2013), hay tres dimensiones filosóficas en las que es necesario enfocarse para una comprensión integral de las simulaciones: la epistemología, la ontología y la teleología, dimensiones que conforman el llamado “triángulo del saber”. En este trabajo de tesis se consideran genéricamente todas estas dimensiones incluidas dentro de la “epistemología”, tomando la acepción de “epistemología” como sinónimo de “filosofía de la ciencia”. Estas son esenciales a las aplicaciones M&S, pero son tratadas en forma parcial y segmentada por las filosofías referenciales y por la filosofía de las simulaciones, generando la necesidad de un marco general más abarcativo. Explicó Humphreys (2013) que

Hay diferencias distintivas entre los objetivos y métodos que dominan la literatura de la filosofía de la ciencia y los objetivos y métodos que son apropiados a las clases de proyectos, interpretados ampliamente, considerados aquí [en la filosofía de las aplicaciones M&S]. Además de las aplicaciones científicas e ingenieriles usuales, hay simulaciones comerciales que encontramos cada vez más en el mundo cotidiano y que son tanto un resultado de la ciencia aplicada como lo son cualquier uso científico tradicional. Muchos proyectos de simulación son inevitablemente multidisciplinarios en su forma y esto requiere la creación de un tercer dominio metodológico. El primer dominio se ocupa de los problemas científicos usuales como la verificabilidad y el poder explicativo; el

segundo dominio se enfoca en los “métodos de X” para alguna área X como el flujo turbulento; y el tercer paso debe ser la filosofía y metodología de las actividades multidisciplinarias que en las aplicaciones M&S son centrales. El uso inteligente de la ciencia del M&S requiere no sólo una apreciación de cuán bien trabaja un método seleccionado dentro de un modelo dado, sino estrategias para seleccionar técnicas de modelado apropiadas para atacar un problema dado. Si bien hay métodos bien establecidos de optimización, bayesianos, numéricos, y otros métodos disponibles para su utilización a través de diferentes temáticas de modelado, el grado de adecuación y alcance de métodos no-formales es todavía un tema controversial. ¿Deberían utilizarse modelos simples pero falsos o modelos complejos y exactos? (...) ¿Capturar características cualitativas es suficientemente informativo para este modelo o necesitamos proveer estimados de parámetros cuantitativos? ¿A qué nivel de detalle debería modelarse el sistema? Mientras las respuestas a muchas de estas preguntas son de dominio específico, las respuestas que apuntan a algún grado de generalidad pueden ser encontradas [en la literatura de la filosofía de las aplicaciones M&S] (...). (pp. VII-VIII)

Así, la filosofía de las aplicaciones M&S se diferenciaría de la filosofía de las simulaciones *alla* Humphreys o Winsberg o Morrison (aunque se nutren de ella) en que se trata de un abordaje integral de la práctica del modelado desde las dimensiones provistas por el triángulo del saber, con un objetivo muy particular: servir de fundamento metateórico para la validación, eje de la preocupación de los involucrados en los sistemas M&S. Explicó Hofmann (2013) que

Mientras la validación es una actividad relativamente sencilla para muchas simulaciones computacionales técnicas, es una actividad más complicada cuando se lidia con simulaciones de sistemas complejos (sociales). En general, en dichas simulaciones es inevitable realizar algunos presupuestos básicos acerca de lo que existe (ontología), acerca de la aproximación correcta a cómo obtenemos conocimiento acerca de la realidad (epistemología) y acerca de los métodos apropiados para alcanzar un propósito determinado (teleología). Desafortunadamente, no hay un conjunto de presupuestos comúnmente aceptados utilizables para todas las simulaciones de sistemas complejos. Además, muchos presupuestos estándar utilizados en el modelado y la simulación es objeto de disputa entre expertos. Consecuentemente, mucha de la reflexión (auto)crítica acerca de los presupuestos que están siendo utilizados es inevitable para dar cuenta de la validez (y por ende del valor práctico) de un modelo de simulación de un sistema complejo. El contexto más amplio de dichas reflexiones es la necesidad de realizar un puente que evite la “grieta semántica” entre cualquier sistema computacional formal (necesariamente una estructura completamente sintáctica) y su contraparte del mundo real llena de “significado” que le fue provisto por los usuarios humanos. Consecuentemente, la ontología, la epistemología y la teleología proveen los fundamentos filosóficos básicos para todo tipo de “ingeniería de sistemas basados en inteligencia” (...) incluyendo el diseño y desarrollo de simulaciones y sistemas basados en agentes (pp. 59-60).

En este capítulo, se estudiará el camino andado por los filósofos de las aplicaciones M&S para

formar un marco epistemológico propicio para su disciplina, y se analizará el problema que enfrentan dada la manera en que han encarado la conceptualización. La hipótesis de trabajo será que el núcleo de la dificultad en este tópico se debe a que parte de las polémicas que las ciencias sociales no han logrado dirimir se han trasladado a las discusiones en la filosofía de las aplicaciones M&S.

En el nuevo marco metateórico, además de lidiar con las problemáticas filosóficas propias de la informática, actores que no provienen de las ciencias sociales se han encontrado con complicaciones que hace años vienen aquejando a la comunidad científica y filosófica de expertos disciplinares. Este cocktail llevó a la generación de algunos trabajos seminales que intentaron dar solución al problema mediante una serie de conceptualizaciones de grano grueso que si bien aportaron un atendible primer paso hacia la generación de una filosofía específica para aplicaciones M&S capaz de dar cuenta de sistemas sociales, terminaron reeditando antiguas discusiones que no parecen ser demasiado útiles para una pragmática en el joven campo de la filosofía de los modelos de simulación social. Esta polémica se reflejó en un monismo metodológico que afecta dicha área, siendo el objeto de muchos trabajos filosóficos de las M&S luchar contra el mismo.

El objetivo de este capítulo será entonces explicitar el problema y trazar su origen histórico, revisar algunos de las conceptualizaciones propuestas en la literatura relevante del área M&S y luego refinar dichos enfoques, con el fin de abonar el camino hacia un marco epistemológico propicio desde donde pensar estas cuestiones necesarias para un tratamiento filosófico adecuado de los modelos globales.

Ya se ha visto en el capítulo anterior que Scolnik (1979) planteaba que para realizar un modelo global, debía realizarse un modelo teórico (que debía dar cuenta de la base empírica, es decir la visión del mundo que poseían los modeladores), y a partir de éste, un modelo formal. El modelo teórico, en el caso de los modelos globales, contempla, como ya se ha visto, partes de teorías de múltiples dominios disciplinarios: demografía, economía, ecología, etc. Sin embargo, no cabe duda que en su gran mayoría, el contenido teórico de los modelos globales cae en el ámbito de las ciencias sociales, por lo que resulta una buena aproximación afirmar que se tratan de simulaciones de sistemas sociales. Entonces una epistemología propicia para tratar a los modelos teóricos, podría ser la epistemología de las ciencias sociales. Pero por otro lado, el modelo formal trata de capturar al modelo teórico en un formato lógicamente viable y capaz de ser interpretado por una máquina (con sus recursos disponibles). El ámbito disciplinar que aborda la metodología propicia para realizar un modelo formal a partir de un modelo teórico es la ciencia de la computación. Ahora bien, los modelos globales son un todo que implican a ambos modelos: el teórico y el formal. Existe una sustanciosa tradición epistemológica en

ciencias sociales y también (aunque menor) en ciencias de la computación, pero ninguna resulta especialmente útil para tratar el todo complejo que es el objeto de análisis de este trabajo de tesis.

Banks (1998) propuso que el trabajo de solucionar un problema mediante una simulación consta de tres pasos: primero debe desarrollarse un diseño basado en el modelo de un sistema teórico para contestar una pregunta de investigación, implementar y ejecutar ese modelo como una simulación en una computadora digital y finalmente analizar los resultados obtenidos. Nada muy diferente a lo propuesto por Scolnik 20 años antes. Esto demuestra que el problema de encontrar un marco epistemológico que incluya el dominio disciplinar del modelo teórico y el dominio de las ciencias de la computación puede transpolarse a todas las simulaciones, y no solo a las de sistemas sociales.

En esto Tolk (2013) fue muy explícito:

Muchos compromisos son hechos en el viaje desde el problema del cliente y la presentación de resultados, y la pregunta a menudo aparece: ¿cuántos compromisos pueden tolerarse antes de que el enfoque se diluya a un grado tal que los resultados no puedan ser ya confiables? En la práctica, dejamos esta pregunta demasiado frecuentemente al juicio de los expertos y sus opiniones, pero no contestamos la pregunta de qué criterios califican para ser experto. ¿Es el conocimiento del dominio de aplicación? Si así fuese, ¿cómo es que este experto está calificado para juzgar la elección del paradigma de modelado correcto o apropiado? ¿Es el conocimiento de los principios de la ingeniería de *software*? Entonces, ¿cómo es que este experto está calificado para lidiar con los varios pasos de la típica conceptualización de las aplicaciones M&S y sus implicancias? (...) Una mezcla de competencia metodológica [de la ciencia de la computación] y referencial [del dominio de aplicación] es necesaria. Lidiar con este desafío requerirá seguramente un grupo de expertos interdisciplinarios que representen todos los aspectos de las áreas contributivas de *expertise* que hacen al cuerpo de conocimientos de las aplicaciones M&S y del dominio del problema (p. 9).

Esto se vuelve especialmente complicado en la simulación de sistemas sociales, por problemas con los marcos epistemológicos de las ciencias sociales (más específicamente, el antiguo debate respecto al monismo metodológico y su contraparte dualista). Un hecho que profundiza el problema, se sostendrá, es que a través de la disciplina denominada Sistemas de Información (*Information Systems*), dominio interdisciplinario que combina ciencias sociales con ciencias de la computación, los filósofos del área han importado este problema epistemológico clásico. Se profundizará en las proximas secciones acerca de esta cuestión.

5.2 La controversia clásica de la epistemología de las ciencias sociales

5.2.1 *Monismo vs. Dualismo metodológico*

El campo que es necesario refinar para dar cuenta epistemológicamente de los modelos globales es entonces el de la filosofía de las simulaciones de sistemas sociales. Las simulaciones son herramientas informáticas que han sido utilizadas exitosamente por científicos naturales y en menor medida (aunque en forma significativa y cada vez mayor) por investigadores de las ciencias sociales. Sin embargo, las conceptualizaciones que permitirían explicitar los supuestos epistemológicos, ontológicos y metodológicos utilizados por los investigadores en esta área, aún adolecen de cierta precisión. Para lograr dicho objetivo deben compatibilizarse algunas nociones clásicas de las ciencias sociales con los tópicos clave de la ciencia de la computación. Se espera que una vez afianzados estos conceptos, el área crezca para gozar de más confianza en la comunidad científica y pueda incluso trascenderla hacia otras comunidades como la de planificadores de políticas públicas, los usuarios clave para los modelos globales.

Las ciencias sociales históricamente sufren de un cierto desprestigio frente a las naturales. La dificultad introducida por el libre albedrío de los sujetos de estudio ha impedido que ciertas cosmovisiones de las ciencias naturales que fueron en su momento exitosas, como el mecanicismo del Siglo XVII, pudiesen aplicarse eficazmente a las sociales. Si bien pueden rastrearse antiquísimos tratados sociales de enorme importancia, la falta de cohesión entre los pensadores de este área significó que dichos tratados se vean más bien como esfuerzos aislados. En todo caso, el positivismo fundado por August Comte (2009) en el Siglo XIX ha sido muy claro en esta posición, estableciendo una escuela de pensamiento de ciencias sociales de cuño “naturalista”, cuyos aspectos metodológicos buscaban emular a las naturales. Así, los investigadores positivistas buscaron formular generalizaciones nomológicas y aplicar técnicas cuantitativas, como correlaciones estadísticas, a fin de aportar objetividad y conseguir un avance definitivo de las ciencias sociales. Importantes trabajos como *El Suicidio* del investigador francés Emile Durkheim de 1898 (Durkheim, 2005) se inscribieron en esta tradición. Esta idea de que existe una sola manera de hacer ciencia (la clásicamente utilizada por las ciencias naturales) es denominada “monismo metodológico”.

Sin embargo, el positivismo comtiano ha tenido desde su surgimiento detractores que han afirmado que las ciencias sociales poseen, debido a la subjetividad de las personas (el objeto de estudio), características propias que generan que el método de las ciencias naturales no sea compatible con las mismas. A mediados del siglo XIX el investigador alemán Wilhelm Dilthey (2007) rebautizó a las ciencias sociales como “ciencias del espíritu” y planteó que la misión de éstas, en contraposición a

las naturales, es la búsqueda de la comprensión (*verstehen*) y no la explicación. Así, la conducta humana no debería explicarse con leyes universales, sino interpretarse como se hace con los libros, por lo que plantea como metodología general la hermenéutica, heredada del filósofo y teólogo Friedrich Schleiermacher. La corriente metodológica inaugurada por Dilthey fue denominada “interpretativismo” o “comprensivismo”. La concepción de un método científico propio de las ciencias sociales, distinto en esencia del de las ciencias naturales, se llamó “dualismo metodológico”.

La caída en desgracia del proyecto civilizatorio comtiano luego de la Primera Guerra Mundial no logró arrastrar consigo a la idea de un método unificado de las ciencias. De hecho, durante la década del 20 apareció en Austria el importantísimo grupo de filosofía de la ciencia conocido como Círculo de Viena. Filósofos de la talla de Rudolph Carnap y Otto Neurath, entre muchos otros, reforzaron mediante el instrumental de la lógica la idea de una ciencia que pudiera confirmar empíricamente sus postulados, algo bastante complicado en el área de las ciencias del espíritu, pero no imposible, como los trabajos de sociología comtiana habían demostrado. Esta escuela fue denominada “positivismo lógico” o “neopositivismo”.

Por supuesto, la hermenéutica también llegó al Siglo XX, con propuestas altamente superadoras respecto a las de sus antecesoras, como la de Max Weber y posteriormente otras como las de Martin Heidegger, Anthony Giddens, Hans-Georg Gadamer, o Jürgen Habermas.

A fin de ilustrar las discusiones contemporáneas y sus implicancias epistemológicas, a continuación se abordará con mayor profundidad los postulados sobre metodología de las ciencias sociales de dos de los más grandes neopositivistas: Carl Hempel y Ernest Nagel, para contraponerlos posteriormente a uno de los defensores más acérrimos de la hermenéutica: el filósofo alemán Alfred Schütz.

5.2.2 *De los argumentos de Nagel y Hempel*

La concepción neopositivista de la ciencia ha buscado unificar bajo criterios comunes a todas las ciencias. Ernest Nagel y Carl Hempel han sido de los más importantes exponentes de esta corriente que se ha ocupado de justificar por qué el enfoque nomológico de la ciencia, aplicado con éxito a las naturales, debía ser aplicado también a las ciencias sociales. La tesis podría resumirse así:

a) El método científico es único, y consiste en encontrar leyes generales, las cuales, unidas en razonamientos deductivos a premisas que son condiciones iniciales determinadas (causas), permiten

explicar los hechos analizados, y asimismo, si en el razonamiento el hecho analizado se ubica en el lugar de causa, permitirá formular predicciones concretas. A veces, las circunstancias del objeto de estudio pueden llevar a leyes estadísticas, en cuyo caso el razonamiento obtenido será inductivo aunque seguirá poseyendo la misma forma lógica.

b) Las corrientes metodológicas comprensivistas adolecen de falta de objetividad, pues está en la esencia de su método (la identificación empática) una enorme carga de subjetividad que, si bien posee valor heurístico para sugerir hipótesis de investigación, no aporta elementos de juicio que puedan ser incorporados a un esquema lógico como el descrito en a).

Nagel afirmó que las ciencias sociales se han ocupado más de hacer “filosofía moral” que ciencia, pues “no pretenden basarse en indagaciones sistemáticas de datos empíricos concernientes al funcionamiento real de la sociedad”, y aclaró que “los ordenamientos experimentales y la recolección metódica de elementos de juicio para evaluación de creencias son de origen reciente” (1968, p. 404).

El autor también aseveró que es complicado aportar leyes estrictamente universales acerca de fenómenos sociales, pero pueden aportarse leyes restringidas en su ámbito de aplicación, limitadas por reservas y excepciones tácitas, y aún así serán frecuentemente útiles. En cuanto a las dificultades que se encuentran en dicho proceso, se ocupó de desarmar varias de ellas.

La primer dificultad refiere al hecho de que el conocimiento acerca de los sucesos (como el estar siendo observados) hace que las personas modifiquen su conducta. Aquí, Nagel argumentó que es posible adaptar los experimentos para minimizar las distorsiones causadas por este efecto (por ejemplo, evitando que los sujetos sepan que están formando parte de un experimento).

La segunda, refiere a la posibilidad de ocurrencia de los fenómenos que el sociólogo estadounidense Robert Merton denominó “profecía autocumplida” y “predicción suicida”, para los que Nagel remarcó el hecho de que las leyes son enunciados condicionales, por lo que estos fenómenos no anulan la validez de las leyes a menos de que las condiciones de ocurrencia hayan sido explicitadas y se hayan falsado. Como remedio, sencillamente pueden agregarse explícitamente las condiciones que desatan estos fenómenos en forma de *provisos* hempelianos (ocurrirá “x” *a menos que* ocurra “y”) (ver Hempel, 1988).

Sobre la afirmación interpretativista de que ciertas cuestiones sociales sólo pueden entenderse desde la subjetividad, Nagel afirmó que es falsa, defendiendo a la psicología conductista: esta, sin negar la existencia de subjetividades individuales, obtendría información científicamente relevante de lo directamente observable: la conducta, el entorno, etc.

La última dificultad analizada por Nagel fue el hecho fáctico de que es difícil (aunque no

imposible) separar los juicios “apreciativos” de los “caracterizadores” en los enunciados de las ciencias sociales. Por ello, recomendó aplicar un “relativismo relacional”, que consiste en que cada científico descubra su propia perspectiva social y formule las conclusiones de sus investigaciones relacionalmente, indicando que sus hallazgos se ajustan a los cánones de validez implícitos en su perspectiva, lo cual permitiría traducir resultados de una perspectiva a otra y hallar denominadores comunes.

En cuanto a Hempel, defendió un argumento análogo, al afirmar que “explicación” y “predicción” son estructuras lógicas idénticas, que deben aplicarse a todas las ciencias. Para sostener esto expuso varios ejemplos de cómo se aplicarían los esquemas nomológico-deductivos y nomológico-inductivos (estadísticos) a las ciencias sociales: conectando hechos C (causas) a hechos E (efectos). Así pues, explicar un hecho E sería indicar las causas C, determinar los factores de E. Es decir, es indicar que según ciertas leyes generales, los hechos C se acompañan regularmente de hechos E. Predecir sería pues indicar que según las mismas leyes, si ocurren los hechos C, en un futuro ocurrirá E. La diferencia entre ambos procedimientos sería meramente pragmática (Hempel, 1965).

La explicación, con este procedimiento, puede someterse a pruebas objetivas, cosa que no sería posible con las pseudoexplicaciones que propondría la metodología interpretativista según Hempel. De todas maneras, al igual que en Nagel, se rescata su valor heurístico.

Hempel afirmó que una explicación es incompleta a menos que pueda funcionar como predicción, y aclara que lo más común en Historia es que las explicaciones sean incompletas, pues es difícil formular explícitamente y con precisión los supuestos que subyacen a los enunciados de esta disciplina para que concuerden con la evidencia empírica. A veces las hipótesis sólo pueden reconstruirse en forma aproximada. En tal sentido, propuso el “esbozo explicativo”. Este no admite una comprobación empírica en la misma medida que la explicación completa pero aún así sería científicamente aceptable, pues proveería indicios de en qué dirección puede apuntarse a fin de confirmar o debilitar las explicaciones. Este proceso de completamiento sería de gran valor heurístico, y el esbozo indicaría en forma aproximada qué tipo de prueba podría verificarlos y qué hallazgos podrían confirmarlos, para lo cual resultaría necesario reconstruir sus supuestos. Finalmente aclaró que las hipótesis generales utilizadas en Historia no son necesariamente de carácter netamente histórico: muchos procesos históricos se explican mediante leyes de las ciencias naturales.

5.2.3 *De los argumentos de Schütz*

La posición de Alfred Schütz en la discusión se halla en algún lugar entre las posturas de los monistas y las interpretativistas, anclada en la fenomenología. En su análisis coincidió con los neopositivistas en que ciertas formas de interpretativismo responden al descuido que la epistemología tuvo respecto a las ciencias sociales, por enfocar casi toda su artillería lógica a las naturales. Coincidió también en que es propio de toda actividad científica el realizar los descubrimientos mediante procesos de inferencia controlados, enunciables proposicionalmente y verificables por terceros. (Schütz, 1962)

Pero, si bien comprendió los motivos por los cuales Nagel criticaba a la hermenéutica, negó que dichos motivos deban imputársele a la hermenéutica de Weber (u otras del Siglo XX): según Schütz, Nagel no ha comprendido correctamente el concepto de *verstehen* (comprensión). También afirmó que el empirismo lógico se ha limitado a presuponer la realidad social (compuesta por la suma de objetos y sucesos dentro del mundo social cultural tal como es experimentada por los hombres cotidianamente), como base no explicada de una teoría. El postulado que describe y explica la conducta mediante la observación sensorial no permitiría entender cómo un tercero puede controlar y verificar los resultados de un investigador: para ello sería necesario saber sus objetivos, los motivos por los cuales creyó pertinente tal o cual observación, etc. Es decir, “comprenderlo”, cayendo en aquello que los positivistas negaban que debía hacer un científico social. Además, identificar la observación sensorial de la experiencia en general y con la experiencia de la acción manifiesta excluiría ciertas dimensiones de la realidad social:

- a) Se explica lo observado y no al observador.
- b) Una misma conducta manifiesta puede tener para los actores significados distintos.
- c) El concepto de acción humana incluye las acciones negativas (es decir omitidas), las cuales no pueden ser captadas sensorialmente.
- d) Los hechos mágicos, los cuales son “reales” (*qua* hechos sociales) si así los definen sus participantes, tampoco son observables a pesar de ser parte de la realidad social.
- e) Lo sensorial permite medir sólo una pequeña parte del mundo social.

Frente a este último problema, Schütz propuso que la parte del mundo social que no es accesible por observación, sí lo es en términos del sentido común. Si bien este conocimiento sería fragmentario y varía entre individuos, el hecho de que el mundo es intersubjetivo y el conocimiento sobre él está socializado, permitiría experimentar la acción de los semejantes en términos de sus motivos y a los objetos culturales en términos de la acción de la cual son resultado. Esto es lo que quería decirse con *verstehen*: no un método, sino una forma experiencial en que el pensamiento de sentido común toma

conocimiento del mundo social cultural.

La realidad social tiene un significado específico y una estructura de significatividades para sus actores, quienes mediante una serie de construcciones de sentido común han efectuado selecciones e interpretaciones previas del mundo que experimentan como realidad cotidiana. Son los objetos de pensamiento suyos los que determinan su conducta al motivarla. Las construcciones de objetos de pensamiento que realizan los científicos sociales son de segundo grado, pues se basan en las de los actores. La indagación de los principios generales según los cuales el hombre organiza sus experiencias en el mundo social, será la tarea del investigador.

Para comprenderse una conducta, según Schütz, deben comprenderse sus motivos, objetivos, elecciones, planes, etc., originados en sus circunstancias biográficas determinadas. Estas no pueden ser experimentadas salvo en su tipicidad. Luego, deberían construirse esquemas típicos de motivos, fines, etc., y llegar a que la conducta estudiada sea un caso de este esquema. A mayor estandarización e institucionalización de pautas de conducta (interpretadas como función o estructura), mayor utilidad tendría esta como esquema interpretativo de la conducta.

Finalmente, afirmó que todas las explicaciones científicas del mundo social pueden referirse al sentido subjetivo de las acciones de los seres humanos en los que se origina la realidad social. La objetividad *alla* Nagel & Hempel sería posible pues cada paso requerido para construir y utilizar un modelo científico social puede ser verificado por la observación empírica, siempre que dicha observación pueda ser realizada no sólo sensorialmente sino también aplicando *verstehen*.

5.3 La traslación de la polémica a sistemas de la información

Rodrigues Filho y Ludmer (2005) afirmaron que

Sistemas de Información es un campo de estudio que se ocupa de algunos componentes básicos de la Tecnología de la Información (IT), a saber: tecnología, desarrollo, uso y gerenciamiento, razón por la cual existen problemas para definirlo exactamente. Más allá de esto, la diferencia entre las tradiciones científicas o culturas entre la ciencia de la computación y las ciencias sociales, por ejemplo, basadas en diferentes posiciones filosóficas o diferentes visiones de mundo, es un hecho histórico que han ofrecido interpretaciones diferentes del campo de estudio de IS. En resumen, una interpretación de SI como un sistema técnico está basada en suposiciones diferentes de aquellas que interpretan IS como un sistema social (p. 152).

De esta definición puede verse que hay una íntima imbricación entre IS e IT las cuales muchas veces son consideradas en forma intercambiable, dependiendo si la cosmovisión del profesional es más cercana a las ciencias de la computación o a las sociales. Sin embargo, como señalaron Ward & Peppard (2002), “IT refiere específicamente a la tecnología, esencialmente hardware, software y redes de telecomunicación” (p. 3, trad. propia) mientras que las IS, tomando la definición de la academia británica (UKAIS), “involucra el estudio de teorías y prácticas relacionadas a los fenómenos sociales y tecnológicos, los cuales determinan el desarrollo, uso y efectos de los sistemas de información en las organizaciones y la sociedad.” (id.). Así, puede afirmarse que IS posee un dominio más amplio, pues incorpora aspectos de la interacción comunicativa entre miembros de las organizaciones, la sociedad y la tecnología que media entre ellos.

Lunt y Reichgelt (2014), en un texto sobre el surgimiento de la tecnología de la información como disciplina, afirmaron que con el advenimiento de las computadoras electrónicas, la academia tuvo la necesidad de conformar currículas específicas para estudiar distintos aspectos relacionados a la aplicación de dicha novel tecnología. Las primeras en realizarlo fueron las ciencias de la computación (en 1968) y las IS en (1973). Posteriormente se agregarían la ingeniería de software y la ingeniería informática. Agresti (2011) finalmente propuso que cada una de estas disciplinas posee una “temática disciplinar”, es decir un dominio de interés propio sobre un aspecto diferenciado de las tecnologías de la información. La ingeniería informática se ocupa para Agresti del hardware, la ingeniería de software se ocupa del desarrollo, las ciencias de la computación de la teoría y las ciencias de la información de las organizaciones.

Topi (2014) realizó una lista de los tópicos más trabajados por los autores IS en las revistas académicas de mayor impacto sobre esta disciplina, y concluyó que los trabajos más publicados y citados son acerca de organizaciones o pueden ser aplicados a organizaciones, lo que confirmaría la asignación temática de Agresti.

Entonces, la práctica lleva a pensar que el foco principalmente es organizacional, y por ende, las IS podrían verse como la rama “social” de las disciplinas que surgen con el advenimiento de la tecnología informática: la que versa sobre la interacción entre dicha tecnología y la sociedad que la requiere. Es pues, a grandes rasgos, una ciencia social, a pesar de la presencia de elementos de otros tipos de ciencias, fácticas y formales, según la distinción clásica de Bunge (2005).

Como corolario de todo lo desarrollado en esta sección, resulta lógico que los marcos epistémicos considerados para pensar en esta disciplina hayan sido creados basándose en propuestas propias de la filosofía de las ciencias sociales, dado que a pesar de ciertas divergencias en la práctica,

producto de la profunda interpenetración de aspectos tecnológicos, el consenso es que las IS son, pues parte del cuerpo de conocimiento de las ciencias sociales.

Como se verá, los filósofos IS típicamente utilizan como unidades epistemológicas de análisis de los trabajos de sus disciplinas a los “paradigmas”. El hecho de que según estos autores exista la coexistencia de varios paradigmas simultáneos, indican que la noción que están considerando no es la esbozada por Kuhn en *La estructura* (donde por definición, durante la etapa de ciencia normal una comunidad solamente sostiene un paradigma), sino otra que está inspirada en la original, pero es ligeramente divergente. El trabajo clásico citado por varios textos de la filosofía de los IS que propone el uso de estas categorías es el de Hirschheim & Klein (1989), los cuales a la vez hacían referencia a un texto de filosofía de las ciencias sociales (Burrell y Morgan, 1979) como origen de la acepción de “paradigma” utilizada. Aquí fue donde se estableció el puente entre la filosofía de las ciencias sociales y los IS.

El texto de Burrell y Morgan propuso que

(...) la teoría social puede ser concebida en términos de cuatro paradigmas clave basados en diferentes conjuntos de presupuestos metateóricos acerca de la naturaleza de las ciencias sociales y de la naturaleza de la sociedad. Los cuatro paradigmas están fundados en visiones mutuamente excluyentes del mundo social. Cada una tiene su identidad propia y genera su propio análisis distintivo de la vida social. Con respecto al estudio de las organizaciones, por ejemplo, cada paradigma genera teorías y perspectivas que son fundamentalmente opuestas a aquellas generadas por los otros paradigmas (p. x).

La esencia de los paradigmas propuestos yace en los presupuestos que les dan origen. Estos presupuestos son de la siguiente naturaleza:

Primero, hay presupuestos de una naturaleza ontológica relacionados, es decir, si la “realidad” que los científicos investigan es externa a la mente de las personas y se le impone, o si el mundo es modelado en sí mismo por la conciencia individual.

Asociado con el asunto ontológico, están los presupuestos epistemológicos, es decir, acerca de qué forma de conocimiento es asequible, y cómo es posible (si lo es) separar lo “verdadero” de lo “falso”. De hecho esta dicotomía

(...) implica una cierta postura epistemológica. Se predica sobre una visión de la naturaleza misma del conocimiento. (...) Los presupuestos epistemológicos en estas instancias determinan posiciones extremas en el

asunto sobre si el conocimiento es algo que puede ser adquirido, o es algo que tiene que ser personalmente experimentado (p. 2).

Los otros conjuntos de presupuestos que sugirieron Burrell y Morgan son los que conciernen a la naturaleza humana (si tiene más preponderancia la influencia del ambiente o el libre albedrío) y finalmente, los que conciernen a la metodología de investigación (entre una postura subjetivista, ideográfica, y una postura nomotética propia del monismo metodológico positivista).

La conjunción de las dimensiones ontológica, epistemológica, de naturaleza humana y metodológica, configura los cuatro “paradigmas” sugeridos por Burrell y Morgan como la base de la investigación organizacional. Esta distinción, tomada primero por Hirschheim y Klein (1989), sería referida por múltiples autores en el futuro como la referencia fundamental en el área IS.

Tanto los paradigmas de Burrell y Morgan como los de Kuhn (2004) coinciden en que un cambio de paradigma se asemeja a un cambio gestáltico o a una conversión religiosa (analogías abandonadas luego por Kuhn por ser inadecuadas para dar cuenta de fenómenos comunitarios). Pero Burrell y Morgan aseveraron que la noción que pretendían caracterizar era más amplia que la kuhniana, y por ello se atrevieron a plantear que la sociología se hallaba en un estado de “ciencia normal” con estos cuatro paradigmas debatiendo entre sí. Claro está que para el autor de *La estructura de las revoluciones científicas* las ciencias sociales se hallaban en un estado “pre-paradigmático” (más tarde ese estado, como se mencionó en el capítulo 2 fue denominado “inmaduro” al abandonar Kuhn el término “paradigma”) y que la precondition, como se dijo más arriba, para alcanzar un estado de ciencia normal es la aceptación de un único paradigma por parte de la comunidad científica de un dominio disciplinar particular (al menos así lo consideró hasta abandonar su concepto de “paradigma” por el concepto más preciso de “matriz disciplinar” en su posdata a *La estructura...* del año 1969).

En definitiva, Burrell y Morgan revelaron cuatro paradigmas que guían la investigación de las ciencias sociales, en particular a la sociología organizacional. Las descripciones que plantearon sobre dichos marcos son muy exhaustivas y detalladas, pero se resumirán con algunas citas fundamentales.

El marco dominante sería el “paradigma funcionalista” de carácter “realista, positivista, determinista y nomotético” (p. 26). Y afirmaron que

El enfoque funcionalista a las ciencias sociales tiende a asumir que el mundo social está compuesto por artefactos y relaciones empíricas relativamente concretas que pueden ser identificadas, estudiadas y medidas a través de

enfoques derivados de las ciencias naturales. El uso de analogías mecánicas y biológicas como medios de modelar y entender el mundo social es particularmente favorecido en muchas teorías funcionalistas (*id.*, p.26).

El segundo marco es el “paradigma interpretativista”, de carácter “nominalista, antipositivista, voluntarista e ideográfico” (p.26). Explicaron al respecto que:

El paradigma interpretativista tiene el compromiso de entender el mundo como es, de entender la naturaleza fundamental del mundo social al nivel de la experiencia subjetiva. Busca la explicación dentro del dominio de la conciencia individual y la subjetividad, dentro del marco de referencia del participante, en oposición al observador de la acción. (p.26)

y prosiguen:

[el paradigma interpretativista] ve al mundo social como un proceso social emergente que es creado por los individuos involucrados. La realidad social, en la medida en que se reconoce que tiene existencia fuera de la conciencia de un individuo, se entiende que es poco más que una red de presupuestos y significados intersubjetivamente compartidos. El estatus ontológico del mundo social es visto como extremadamente cuestionable y problemático (...) (p. 26-31).

El tercer paradigma es el “humanismo radical”, posee las mismas características ontológicas y epistemológicas que el interpretativismo, pero varía su cosmovisión ideológica. Los autores explicaron que

Una de las nociones más básicas que subyacen a todo este paradigma es la conciencia del hombre dominado por superestructuras ideológicas con las cuales interactúa, y que esto conlleva una grieta cognitiva entre él y su conciencia verdadera. Esta grieta es la grieta de la “alienación” o “falsa conciencia”, la cual inhibe o previene la completitud humana verdadera. La mayor preocupación para los teóricos que se aproximan al predicamento humano en estos términos es la liberación de las restricciones que los arreglos sociales existentes imponen al desarrollo humano. Es la rama de la teoría social diseñada para proveer una crítica al status quo. (p. 32).

El cuarto y último paradigma es el “estructuralismo radical”, un homólogo en la mayoría de las características epistemológicas y ontológicas al funcionalismo, pero, al igual que el humanismo radical, con una cosmovisión social predominantemente marxista.

El artículo clásico de Hirschheim y Klein (1989) denominado “*Four Paradigms of Information Systems Development*”, como ya se mencionó, tomó literalmente las categorías de Burrell y Morgan

para caracterizar los *modus operandi* de los investigadores IS. Allí los autores mencionaron en una nota al pie la existencia de algunos investigadores en desacuerdo con la clasificación epistemológica en cuestión, a pesar de lo cual de todos modos ellos la defenderían para IS. La interpretación fue realizada por vía de “cuentos genéricos” que funcionan como arquetipos:

La interpretación teórica tomará la forma de una discusión acerca de (1) actores claves de la historia: el “quién” del cuento; (2) la narrativa: el “qué del cuento, cuáles con las características clave y las actividades; (3) el argumento: el “porqué” del cuento, por qué la acción del cuento tomó lugar del modo que lo hizo; y (4) presupuestos: las creencias fundamentales sostenidas por los actores del cuento, discutidos en términos de los presupuestos epistemológicos y ontológicos. (p. 1202).

El primer cuento, escrito pensando en el paradigma funcionalista se titula “El analista como experto en sistemas”, y planteaba al desarrollo de un sistema como un razonamiento de corte instrumental. Esta idea de medios y fines plantea que el experto IS no se ocupará de analizar los motivos o conflictos asociados con los objetivos organizacionales, sino que simplemente ejecutará las acciones indicadas para alcanzarlos, descargando la responsabilidad de las motivaciones en los administradores corporativos. “La política es vista como algo irracional ya que interfiere con la maximización de la eficiencia o efectividad” (p. 1203).

También se aseveró que:

A través del concepto de “requerimientos económicos”, la realidad económica se vuelve medible [y es la misma para todos los actores] (...) La realidad económica (traducida a objetivos cuantitativos financieros y a características de performance de los sistemas) permite objetivos de sistemas derivados de una forma objetiva, verificable y racional. El diseño de sistemas se convierte primariamente en un proceso técnico. (p.1203)

Al especificar la narrativa funcionalista los autores aclararon que:

El desarrollo de sistemas de información procede a través de la aplicación de un “realismo naive” - la noción de que la validez de las especificaciones de sistemas, modelos de datos, modelos de decisión y salida del sistema pueden ser establecidos chequeando su correspondencia con la realidad. La realidad consiste de objetos, propiedades y procesos que son directamente observables. (p.1203)

Dado que el objeto del actor funcionalista es coincidente con el de la organización, será pues la maximización de las ganancias de la misma. Los medios para ello serán elegidos por la administración

y ejecutados por el experto. La epistemología es positivista (se buscan relaciones causa-efecto mensurables en campo) y la ontología realista. Estos supuestos producen fallas:

Muchos argumentan que el funcionalismo no ha sido un paradigma particularmente exitoso para entender la vida societal y organizacional, dado que el sujeto de estudio – la gente – no se presta al estudio a través de los medios positivistas (...). La gente tiene libre albedrío y la observación no es neutral. (p. 1204).

El segundo cuento refería al paradigma interpretativista y se titulaba “El analista como facilitador”. Allí se planteaba que en este cuento:

Se reconoce que el conocimiento acerca de los medios y fines humanos no se obtiene fácilmente porque la realidad es excesivamente compleja y elusiva. No hay una realidad simple, sólo diferentes percepciones sobre ella. Los negocios no lidian con una realidad económica objetiva, sino con una que evoluciona a través del cambio de tradiciones -leyes sociales, convenciones, normas culturales y actitudes (...). La administración, también, trata de encontrar sentido en la confusión e impregnar a otros con el compromiso con la misión organizacional que está constantemente evolucionando. Las IS son parte de un entorno social continuamente cambiante y de alguna manera debe ayudar a identificar qué fines son deseables y factibles. La distinción entre fines y medios es fluida y reversible. Los objetivos de sistema emergen como parte de la construcción organizacional de la realidad (...). El rol del desarrollador del sistema es el de interactuar con la administración para encontrar qué tipo de sistema tiene sentido, pero no hay criterios objetivos que distingan entre buenos y malos sistemas. Todo depende de lo que las partes crean verdadero. El desarrollador debe trabajar desde la perspectiva de los usuarios y ayudarlos a encontrar sus visiones preferidas (pp. 1204-1205).

Al especificar la narrativa de este paradigma, los autores aseveraron que:

El desarrollo de sistemas de información crea nuevos significados. La efectividad del sistema de información yace en su habilidad de ayudar a los usuarios a entender mejor las convenciones y significados actualmente aceptados. El desarrollo de sistemas de información procede a través de la aplicación del interaccionismo simbólico, el cual sugiere que los actores organizacionales interpretan objetivos de sistema y especificaciones y actúan de acuerdo al significado que su interpretación les provee. (p. 1205).

Se aclaraba finalmente que la epistemología es anti-positivista (relativista social), con una ontología nominalista, idealista. El problema que se le veía al cuento, según los autores, era que el experto tiene por valor supremo el consenso, sin mediar juicio valorativo alguno sobre los objetivos organizacionales, es decir, se buscaría un consenso *naive* (ver Habermas, 1984).

Sobre los otros dos cuentos no se profundizará, basta aclarar que se trataban de versiones críticas (es decir, teñidas del marxismo en la versión de la Escuela de Frankfurt) de las dos anteriores: “El analista como partisano del trabajo” (paradigma estructuralista radical) y “El analista como emancipador o terapeuta social” (paradigma humanista radical). Por supuesto, no se cerraba la posibilidad de la existencia de otros paradigmas posibles en el área de las IS, pero se especificaban estos como los principales, derivados de los ya analizados de Burrell y Morgan, y se enfatizaba la dominancia académica del funcionalismo.

El trabajo de Orlikowski y Baroudi (1991) se planteó verificar empíricamente la presencia de los paradigmas ya descriptos en el área de las IS, revisando 155 artículos del área publicados entre 1983 y 1988 en las revistas académicas de mayor impacto, para luego clasificarlos según sus presupuestos ontológicos y epistemológicos. El funcionalismo fue directamente bautizado “positivismo” y definido de la siguiente manera:

Los estudios positivistas tienen como premisa la existencia de relaciones a priori entre fenómenos que son típicamente investigados con instrumentación estructurada. Dichos estudios sirven primariamente para testear teorías, en un intento de incrementar el entendimiento predictivo de los fenómenos. Los criterios que adoptamos al clasificar los estudios como positivistas fueron evidencia de proposiciones formales, medidas cuantificables de variables, testeo de hipótesis y el esbozo de inferencias acerca de un fenómeno desde la muestra a una determinada población. (p. 5).

Se agregaron también a este grupo ciertos estudios de caso por considerar descripciones “objetivas” de hechos “factuales”. Se volvió a indicar la naturaleza nomológica de las afirmaciones positivistas, la búsqueda de explicaciones causales a través del hipotético-deductivismo y se afirmó que:

Se asume, explícita o implícitamente, que hay una correspondencia uno-a-uno entre los constructos del modelo del investigador y los eventos, objetos o características de interés en el mundo. El investigador mismo es visto como que juega un rol pasivo, neutral en esta investigación, y no interviene en el fenómeno de interés. (p. 9).

El positivismo fue duramente criticado por su actitud libre de valores, la cual permitiría el anclaje del *statu quo*. Por otro lado, el interpretativismo fue definido así:

Los estudios interpretativistas asumen que la gente crea y asocia sus propios significados subjetivos e intersubjetivos mientras interactúan con el mundo a su alrededor. Los investigadores interpretativistas entonces

intentan entender los fenómenos a través del acceso a los significados que los participantes les asignan. En contraste directo con los estudios “descriptivos”, los interpretativistas rechazan la posibilidad de un enfoque “objetivo” o “factual” de eventos y situaciones, buscando en cambio un entendimiento de los fenómenos relativo, si bien compartido. (...). El criterio que adoptamos para clasificar los estudios como interpretativistas fue la evidencia de una perspectiva no-determinística donde la intención de la investigación haya sido el incremento del entendimiento del significado del fenómeno dentro de situaciones culturales y contextuales; donde el fenómeno de interés fue examinado en su lugar natural y desde la perspectiva de los participantes, y donde los investigadores no impusieron su entendimiento externo y a priori a la situación. (p.9)

Los paradigmas críticos fueron fusionados en uno solo y definidos del siguiente modo:

Los estudios críticos buscan establecer una crítica al *status quo* a través de la exposición de lo que se cree son contradicciones estructurales profundamente asentadas dentro de los sistemas sociales, y luego transformar estas condiciones sociales alienantes y restrictivas. Los criterios que adoptamos para clasificar los estudios como críticos fue la evidencia de una perspectiva crítica hacia los presupuestos dados-por-garantizados acerca de sistemas de información y organizaciones, y un análisis dialéctico que intente revelar la naturaleza histórica, ideológica y contradictoria de las prácticas sociales existentes (pp. 5-6).

Ahora bien, las conclusiones del estudio de Orlikowski y Baroudi resultaron apabullantes: el 96,8% de los artículos eran “positivistas”, frente al 3,2% que eran interpretativistas... y el 0% críticos. Esto despertó una señal de alarma en la comunidad, y se bregó por un pluralismo metodológico que desplazase al positivismo en pos de los otros paradigmas. No había una hipótesis concreta acerca de por qué se daba la dominancia extrema del positivismo, aunque se enfatizaron fuertemente sus debilidades como argumento para intentar que las demás cosmovisiones tengan una oportunidad en las revistas académicas.

En Hirshheim *et al.* (1995), los autores retomaron la conceptualización de cuatro paradigmas para las IS, profundizando con mucho nivel de detalle aquello que habían esbozado seis años antes. Vale la pena mencionar que entre los autores que darían sustento teórico al funcionalismo, se mencionaron en este trabajo a Karl Popper y Ernest Nagel, los cuales curiosamente adscribían a escuelas epistemológicas antagónicas.

Tashakkori y Teddlie (1998) llegaron a afirmar que existiría en las ciencias sociales una “guerra de paradigmas” entre el positivismo (el enfoque cuantitativo) y el interpretativismo (el enfoque cualitativo), y pretendieron ofrecer una conciliación metodológica en la forma de un enfoque mixto

que, al menos en las IS, no ha tenido demasiado éxito. Esto fue retomado en Hirschheim y Klein (2003) como uno de los elementos que configurarían una supuesta crisis en la disciplina IS.

Más allá de algunos artículos metateóricos en el área llamando a una cruzada a favor del pluralismo metodológico, la evidencia empírica terminó por eliminar a los paradigmas críticos del mapa, quedando los pluralistas en las IS reducidos a una posición de defensa a ultranza del interpretativismo.

Chen y Hirschheim (2004) retomaron el trabajo de Orlikowski y Baroudi de 1991, utilizando las mismas categorías pero ampliando el análisis empírico: esta vez se revisaron 1893 artículos de revistas *mainstream* publicados entre 1991 y 2004, tanto de EE.UU. como de Europa. El panorama para los defensores del pluralismo resultó un poco mejor: el positivismo ocupaba el 81% de los artículos frente al 19% de los artículos interpretativistas, la mayoría aportado por las revistas europeas. Se propuso como explicación de la preferencia abismal de la que goza el positivismo en el área el hecho de que los enfoques cuantitativos requieren menos tiempo, esfuerzo y recursos que los lentos trabajos de campo de los cualitativos. Esto genera una mayor optimización del tiempo, necesario para subsistir en el sistema académico, el cual, no por nada, es bautizado en la jerga de los investigadores como “*Publish or Perish*” (Publica o perece).

Brooke (2009), discípula de Heinz Klein, intentó convencer a la comunidad académica de las IS de que insista con las perspectivas críticas, las cuales parecen estar adquiriendo cierto ímpetu en los últimos años, sobre todo desde la recuperación de autores como Michel Foucault y Jürgen Habermas y su aplicación al área organizacional. Además, los autores analizados, de enorme relevancia académica, han logrado influir en la comunidad científica con su defensa del pluralismo metodológico contra el positivismo monista predominante.

Más allá de que puede considerarse una postura loable el defender a quienes practican una forma de investigación distinta de la hegemónica y para muchos más apropiada para el tratamiento de sistemas de las ciencias sociales, la forma de caracterizar las posturas en pugna resulta ingenua, y es especialmente errónea al representar a un positivismo torpe e insensato, y podría ser el fruto de un análisis poco profundo de los textos clásicos o una estrategia de argumentación basada en una falacia del hombre de paja.

El positivismo de corte ingenuo vislumbrado por los autores IS se parece más al definido por August Comte en el Siglo XIX que a la versión sofisticada surgida de la obra de los filósofos del Círculo de Viena y sus seguidores. Si bien los trabajos de la filosofía de las IS no apuntan a desarrollar en forma fina y detallada los supuestos detrás de cada escuela filosófica, no resulta admisible ni útil

para el análisis sostener definiciones que incurren en caracterizaciones falaces. Y mucho menos pueden proveer el marco propicio para el análisis de prácticas tan complejas como las del modelado global u otras simulaciones de sistemas sociales.

Los investigadores que hoy en día adhieren explícitamente a alguna versión del positivismo difícilmente poseen una posición ontológica y epistemológica realista ingenua como la planteada por la caracterización de los autores IS. El clásico de Putnam *Las mil caras del realismo* (Putnam, 1994) sugiere no digamos “mil” (el nombre original debería haberse traducido “Las *muchas* caras del realismo”), pero si varias opciones dentro del espectro de posiciones realistas, cada una con distintas ventajas y desventajas. En definitiva, el rótulo “positivista” no puede asociarse automáticamente a un realismo *naïve*, puesto que existen múltiples alternativas que gozan de mayor prestigio en la comunidad de epistemólogos, aunque siempre con sus pros y contras: la discusión sobre cuál es la mejor posición realista está lejos de ser zanjada (mucho menos la discusión realismo-antirrealismo).

Otro problema en las caracterizaciones del positivismo analizadas tiene que ver con la idea de que para esta concepción epistemológica la forma de obtener conocimiento sería a través del uso del método hipotético deductivo y mediciones “libres de valores”: es decir, que para los positivistas, el conocimiento aumentaría con el contraste de hipótesis en ausencia de valores no-epistémicos. Como se ha visto en el capítulo anterior, Gómez (2014) aducía que los más importantes filósofos del círculo de Viena ya habían teorizado sobre la presencia de dichos valores en todos los contextos científicos: Rudolph Carnap afirmó que la selección de hipótesis está determinada por distintos factores, entre ellos algunos de corte práctico o metodológicos y también subjetivos (Carnap, 1962). Otto Neurath planteó que la justificación de enunciados no puede reducirse al mero juego lógico, debiendo agregar ingredientes volicionales a los que llamó “motivos auxiliares” (Neurath, 1983). Philipp Frank enfatizó que la decisión acerca de la aceptación de una teoría depende fuertemente de la contextualidad y contingencia histórica (Frank, 1988). La lectura de primera mano de estos tres autores neopositivistas desmiente la versión oficial de que el Círculo de Viena defendía la inexistencia de valores no-epistémicos en la ciencia. Si es cierta la aseveración de Gómez de que la versión de un Círculo de Viena neutralista sostenida por el *mainstream* fue una forma de minimizar la fuerte politización de los neopositivistas, pues parece que surtió efecto en la comunidad de las IS. Puede concluirse de los textos analizados por Gómez que para adherir al neopositivismo no es necesario sostener una ciencia libre de valores como propone la historia oficial.

Según lo que se ha analizado sobre los textos de Alfred Schütz en la sección anterior, la posición interpretativista esbozada por los autores IS analizados resulta algo más fiel, aunque

ciertamente el filósofo alemán presentó una versión matizada donde coincide con su contraparte positivista en varios aspectos relativos a la necesidad de contrastación de las proposiciones científicas. Un antirrealismo extremo haría muy complicada esta parte. Aunque, por otro lado, quedarse sólo con lo perceptible empíricamente dejaría fuera del espectro una gran cantidad de cosas interesantes al científico social, cosas que un positivista podría pasarse de largo si no tuviese forma de comprobarlas en el campo. Esta cuestión fue tenida en cuenta explícitamente por los filósofos de las IS, por lo que puede proseguirse a la próxima sección.

5.4: De las IS a las M&S: un problema persistente

5.4.1 La llegada de la controversia a las aplicaciones M&S

Las *Information Systems* son un área disciplinar que, como ya se ha mencionado, hace tiempo intenta proveer un marco epistemológico para sus investigadores. Sin embargo, el objeto de las IS no sólo incluye simulaciones, sino que posee otras competencias del quehacer organizacional. Aquellos que se especializaron en aplicaciones M&S, especialmente en simulaciones de sistemas sociales, se vieron en la necesidad de crear un marco epistemológico más específico que el provisto por los filósofos de las IS aunque ciertamente se han nutrido de lo trabajado por ellos.

El trabajo de Becker *et al.* (2005) resulta paradigmático en la búsqueda del mencionado marco. Allí se analizaron varias obras (incluyendo algunas de las mencionadas en la sección anterior dentro del área IS) para arribar a la conclusión de que las perspectivas utilizadas implícitamente por los modeladores de los sistemas sociales pueden reducirse a dos grandes clases de epistemologías: una *objetivista* y la otra *relativista*. Hofmann (2013) evaluó esas posiciones y enfatizó que si bien posturas tan extremas no podían representar todas las perspectivas epistemológicas existentes, sí resultaban útiles para iluminar las características esenciales en lo que refiere a las prácticas de los modeladores. Hofmann llamó al paradigma epistemológico que pregona al objetivismo “positivista”, y a la que asimila al relativismo “constructivista”, y reconoció a esta última como “una epistemología que refleja los problemas de las ciencias sociales” (Hofmann, 2013, p. 64), mostrando que se está ante una nueva edición de un dilema bastante antiguo.

A continuación se sigue el análisis de Hofmann, el cual es coincidente con el de varios filósofos de las aplicaciones M&S como Bozkurt & Sousa-Poza (2005) y también con el de Andreas Tolk (2013), para resumir cómo se plasman en la modelización de simulaciones las posiciones anteriores:

El positivismo sería la posición que busca leyes en el mundo objeto para poder luego programarlas en el sistema simulado, de modo que este pueda representarlo con fidelidad. La validación será posible utilizando la Teoría de la Correspondencia, comparando la salida del modelo con mediciones en el mundo real. A nivel ontológico, se corresponde con una posición realista.

El constructivismo, en contraste, obtiene las reglas a programar de sus propias creencias acerca del mundo objeto, puesto que considera que aquello que denominamos “conocimiento” son construcciones mentales: no hay compromiso con leyes que podrían existir o no. La validación será, en este caso, utilizando la Teoría del Consenso, comparando la salida del modelo con lo consensuado por el grupo interesado en él, no siendo necesario que represente verdades de facto (las cuales son inaccesibles). A nivel ontológico, se corresponde con una posición idealista, antirrealista. Es llamativo que la descripción que se propone en el área M&S de la epistemología constructivista resulta muy similar a la interpretativista que se propone en IS. Es probable que los filósofos de las simulaciones hayan preferido evitar el uso del término “interpretativismo” para intentar adherirse a una etiqueta más moderna y con más prensa en la academia como es el constructivismo (etiqueta que caracteriza distintas posiciones con muchos adeptos en educación y la sociología de la ciencia, por ejemplo).

Los autores M&S también son pluralistas metodológicos y sostienen las mismas quejas al monismo que sus predecesores IS. Así pues, la elección del paradigma, afirmó Becker *et al.* (2005), tiene que ver con que diferentes disciplinas académicas y comunidades de investigación tienden a desarrollar aproximaciones disímiles y tomar diferentes presupuestos. Marko Hofmann (2013) afirmó que muchos científicos consideran la perspectiva constructivista “exagerada” por ser tan relativista y por ello propone, a fin de promover este tipo de trabajos de investigación y modelado, clarificar cómo las percepciones y construcciones individuales pueden converger en nociones comunes de realidad compartidas por la comunidad científica.

Aquí nuevamente debe introducirse una objeción: el “constructivismo” es un término polisémico, un rótulo para una serie de posturas filosóficas también contrapuestas. Así como el realismo, el constructivismo también posee “mil caras”, y si esta etiqueta será utilizada para fijar un marco epistemológico es necesario que aquellos que deseen trabajar bajo este marco sean conscientes de las implicancias de tal decisión. La próxima sección será dedicada a repasar distintas formas de constructivismo y sus implicancias para la simulación de sistemas sociales, notando en cada caso su compatibilidad (o no) con dicha área.

5.4.2 *Las mil caras del constructivismo*

Existen múltiples posiciones en epistemología, psicología, pedagogía e incluso sociología que se dan en llamar “constructivismo”. A fin de sistematizar una manera de compararlas, Phillips (1995) propuso tres ejes de análisis:

- a) La construcción del conocimiento como proceso individual vs. proceso colectivo.
- b) El ser humano como constructor de conocimiento vs. la naturaleza como instructor.
- c) La construcción del conocimiento como proceso físico vs. proceso mental.

Los extremos de los ejes son dicotómicos, pero se permite seleccionar puntos intermedios para dar cuenta de posiciones mixtas. Otra cuestión importante a denotar es si la posición sostiene una posición idealista (como las propuestas por Ernst von Glasersfeld o Georg Hegel) o realista (como en el caso de Karl Popper o Jean Piaget). La existencia de posiciones ontológicas realistas en el constructivismo es razón suficiente para dudar de la etiqueta unificadora utilizada en la epistemología de las aplicaciones M&S.

A fin de no extender demasiado esta sección del trabajo de tesis, se profundizará en tres de las más importantes posiciones denominadas “constructivismo” en epistemología, como ejemplos paradigmáticos con el fin de enfatizar la necesidad de complejizar cómo se utiliza el mencionado rótulo. Se trata del constructivismo social, el constructivismo radical y el constructivismo piagetiano. No será un análisis extenso, puesto que simplemente se ahondará en aquellos aspectos que han sido destacados relevantes en el área de las simulaciones de sistemas sociales. El análisis se basará en la utilización de los primeros dos ejes de Phillips como categorías básicas de la elucidación. Cabe insistir en que la selección no es exhaustiva, puesto que otros importantes autores que han sido denominados “constructivistas” podrían incluirse, aunque por razones de síntesis argumental no se abordarán. Entre ellos podría nombrarse a Immanuel Kant, Karl Popper, John Dewey y Lev Vygotski entre otros.

El constructivismo social es una postura epistemológica surgida desde el llamado Programa Fuerte de Edimburgo, una escuela de sociología de la ciencia que ha planteado que el conocimiento es un proceso de origen estrictamente social, y por ende son partidarios de una forma muy extrema de relativismo, donde los sistemas intelectuales surgen como consecuencia de los sistemas sociales. Por ende, todo lo que es denominado “conocimiento” y “realidad” serían creaciones colectivas. En el primero de los ejes de Phillips se encuentran marcadamente del lado “social”, y en el segundo del lado en el que se sostiene al conocimiento como una creación humana, dejando de lado cualquier tipo de anclaje o restricción por parte de la naturaleza. Sus exponentes más famosos son los sociólogos David

Bloor y Barry Barnes.

Mencionó a este respecto Castañón (2007):

El constructivismo social afirma que la ciencia no es un modo de producción de conocimiento superior a los otros, y que la distinción entre contexto de justificación y contexto de descubrimiento no es válida. La posición epistemológica tradicional afirma que la producción de conocimiento puede ser explicada en términos del ambiente sociocultural en que la investigación se da, pero su validación, y la determinación de su valor epistémico, es determinada por criterios lógicos y empíricos que en nada dependen del contexto social. Esos criterios son cuestionados en su a-historicidad y universalidad por esta corriente relativista. (pp. 124-125).

En este caso, se sostiene una idea antirrealista y de necesidad de consenso para establecer conocimiento (y por ende la validación de un modelo debe ser por Teoría del Consenso), por lo que la tesis del constructivismo social es compatible con la tesis del constructivismo expuesta por Hofmann (2013) y Tolk (2013) para la epistemología de las aplicaciones M&S. Además el consenso funciona como un elemento generador de objetividad en las ciencias para múltiples corrientes, como en ciertas vertientes de la epistemología feminista (p.e. Longino, 1990). De todas maneras, aunque sea viable y defendida por parte de la comunidad, esta postura epistemológica sigue anquilosada en un fuerte relativismo, y por ende continúa arrastrando los problemas a los que Hofmann hacía referencia al justificar la desconfianza que despierta el “constructivismo” en cierto sector de los modeladores de simulaciones sociales y de los usuarios de dichos modelos.

En cuanto al constructivismo radical, se trata de una posición surgida desde los escritos teóricos del psicólogo y filósofo Ernst von Glasersfeld, además de Paul Watzlawick y Heinz von Foerster, entre otros. En este caso, se considera que el conocimiento es una construcción individual. Castañón (2007) afirmó que

(...) a pesar de poseer influencia irrelevante en la Filosofía de la Ciencia contemporánea y de tener su influencia en Psicología restringida a un pequeño campo de psicoterapia, el Constructivismo Radical tiene una incuestionable influencia en la pedagogía contemporánea (2007, p. 125).

En los ejes de Phillips, puede ubicarse a esta postura epistemológica de la siguiente manera: en el primer eje, se ubicará obviamente en el extremo de la construcción del conocimiento individual, y en el segundo coincidirá con el constructivismo social en la consideración de que el conocimiento es una construcción humana y la naturaleza poco tiene que ver con su conformación. Otra vez se trata de una

posición ontológica idealista, coincidente con la descripción del constructivismo que tienen los informáticos. Sin embargo esta vez es más complicado pensar que el consenso puede ser el método de validación si se considera al conocimiento como una construcción individual y no colectiva. Así pues, resulta muy poco conveniente esta corriente epistemológica para su utilización en informática debido exactamente a este problema. La validación de un modelo informático (o de un conocimiento científico cualquiera) implica su aceptación por parte de una comunidad determinada, si bien no necesariamente de toda, al menos de una parte de ella. Siendo todo conocimiento para un constructivista radical una creación estrictamente individual, entonces la validación parece imposible o al menos inútil. No tiene sentido para una comunidad tomar un conocimiento anclado en una construcción subjetiva de un científico particular dado que cada individuo construye los propios. Tampoco tiene sentido para esta postura el contraste contra lo empírico sostenido por la Teoría de la Validación por Correspondencia, ya que no hay compromiso con aquello externo a la subjetividad de las personas. En Nola & Irzik (2005) se rescataron los textos del propio von Glasersfeld afirmando que el conocimiento no puede ser considerado “verdad” en el sentido de “correspondencia con una realidad independiente del observador” porque el mismo es construido por un conocedor que no posee acceso a la realidad. Pues bien, esta postura epistemológica, que posee muchos adeptos en el área de la pedagogía, no parece tener ninguna aplicación posible en la epistemología de las simulaciones informáticas, a menos que simplemente se considere que cada modelador es un mundo en sí mismo y que por ende sus simulaciones responden a problemas individuales comprendidos por él mismo, en cuyo caso parecería que él es la única persona capaz de validarlo, y en consecuencia, el único usuario al que pudiera servirle para algo dicho modelo. En definitiva resulta una posición inviable para su consideración en la filosofía de las aplicaciones M&S.

Finalmente se abordará al constructivismo piagetiano. Este es de corte realista, y considera una aproximación asintótica hacia la realidad por parte del sujeto cognoscente. Si bien comparte con las otras corrientes constructivistas la idea de que el conocimiento es una construcción de las personas, también considera que el ambiente ejerce una fuerte influencia en dicha construcción, por lo que en el segundo eje de Phillips se colocará en una posición intermedia. En cuanto al primero, si bien Jean Piaget ha sido partidario del conocimiento como construcción individual, sus seguidores actuales han incluido al otro social como parte fundamental de dicho proceso, llevando al posicionamiento neopiagetiano a un lugar intermedio en dicho eje. La posición realista permite el uso de la Teoría de la Correspondencia para validar los modelos construidos por la posición piagetiana (quien de hecho ha sido creador de muchísimos ensayos empíricos en su área de trabajo), aunque por otro lado, la idea de

que el ser humano construye su conocimiento (fuertemente influenciado por el ambiente) lo hace compatible con las corrientes interpretativistas de las ciencias sociales para la construcción de modelos y lo aleja de un empirismo positivista extremo.

Tomando como base la postura epistemológica de Jean Piaget, parece un error asociar necesariamente a las distintas corrientes hermenéuticas de las ciencias sociales con un relativismo absoluto, y permitiría que la comunidad que hoy desconfía de la propuesta denominada “constructivista” desde la informática por no poseer anclaje con el mundo externo, pueda acercarse y utilizar lo mejor de su metodología. Esto aportaría modelos más apropiados, sobre todo para la exploración de problemas de las ciencias sociales, permitiendo básicamente una complementariedad muy valiosa.

5.5 El marco epistemológico adecuado

5.5.1 ¿Qué marco usan los modeladores globales?

Durante el presente capítulo se ha explorado históricamente los mecanismos mediante los cuales se han exportado desde la epistemología de las ciencias sociales hacia la filosofía de las aplicaciones M&S una polémica entre posturas monistas y dualistas metodológicas. Además se ha argumentado que dicha polémica ha sido tratada en forma poco profunda e incluso falaz por los epistemólogos del área. Ahora bien, los próximos esfuerzos se realizarán para buscar un marco epistemológico propicio para los modelos globales.

En líneas generales, si se piensa cuál de los grandes marcos epistemológicos que se han delineado a lo largo del capítulo ha sido predominante en los modelos globales, no cabe duda de que se trata del positivismo. Primeramente, los modelos globales tienen una concepción ontológica realista: todos los trabajos consideran que hay un mundo base donde vivimos y creen que sus modelos representan (en mayor o menor medida) a dicho mundo base. Muchos de los modelos poseen tablas de datos empíricos que sirven para el desarrollo de correlaciones, como entradas a ecuaciones y para la calibración misma del modelo: los parámetros de ajuste de las distintas operaciones matemáticas son instanciadas para coincidir con aquello que se midió en el mundo real. El presupuesto ontológico realista no implica necesariamente el ignorar la presencia de valores no-epistémicos que alteran lo que se ve en el mundo, como se vio en el capítulo anterior respecto a la cosmovisión de los modeladores del Grupo Bariloche. Aunque, ha de admitirse que la idea de neutralidad valorativa es compartida por

buena parte de la comunidad científica, como se ha visto en el caso de los modeladores del MIT (cabe aclarar como valiosa excepción que Donella Meadows, miembro del grupo MIT, fue muy enfática en afirmar la importante influencia de las cosmovisiones individuales en el modelado en Meadows *et al.* (1982), quedando afuera de la caracterización neutralista).

Otro factor de importancia para afirmar que se los modeladores globales poseen una cosmovisión positivista tiene que ver con la forma de validación preferida: incluye en todos los casos alguna forma de contrastación empírica: es decir, uso de Teoría de la Correspondencia, comparando la salida del modelo con mediciones en el mundo base (sea predicción, retrodicción (correr el modelo hacia atrás en el tiempo para comparar con datos del pasado), etc.). De hecho, es mediante Teoría de la Correspondencia que Turner (2012) argumentó que la corrida *business as usual* de *World3* predijo correctamente en 1972 el estado actual del mundo, así como también la objeción que Nordhaus (1973) le hiciese a *World2*. El análisis profundo de las implicancias de la Teoría de la Correspondencia será dejado para el capítulo próximo.

5.5.2 Una epistemología por parcelas

Dada la gran heterogeneidad de sistemas sociales, recortes de lo que constituye el objeto de estudio y tipos de factores que deben tenerse en cuenta en el modelado, es plausible que deba elegirse un tipo u otro de epistemología de modelado según cuál sea el sistema a modelar y cuáles sean las intenciones del investigador/modelador. El marco que se delineará en esta sección propondrá una heurística de trabajo que intentará aportar en dirimir el dilema acerca de cuál de los marcos epistemológicos es conveniente adoptar en el diseño de una aplicación M&S en general, y un modelo global en particular.

En primer lugar, se coincidirá con el positivismo acerca de la necesidad de tener leyes contrastables en las ciencias empíricas (posición aceptada también por interpretativistas como Schütz) o bien contar con correlaciones que permitan delimitar una dinámica. Esas leyes proveen el marco de reglas que los modeladores deben capturar (formalizar) en forma de un código de programación con su sintaxis y semántica propias, y con ellas es que se da forma a ese mundo virtual, intentando que represente, capture o evoque algún aspecto del mundo objeto, sea éste “real” (para el caso de la modelización del funcionamiento de una población particular) o sea un sistema hipotético (en el caso de querer visualizar cómo funcionaría una sociedad imaginaria, o una sociedad real si ocurriese un

determinado hecho que no ha ocurrido y quizás sea fácticamente imposible que ocurra). Así pues, un buen científico social tiene que encontrar leyes, correlaciones y recurrencias. Pero ¿dónde están estas leyes? Obviamente no provienen únicamente de la observación sino que también incluyen hipotetizaciones. Tanto Nagel (1968) como Hempel (1965) mencionan que la *verstehen* (aún la versión *näive* que consideran ellos de ese concepto) posee un rol heurístico. Más aún en la defensa analítica de Schütz. El sentido común es una fuente inagotable de experiencia para plantear leyes, y éstas pueden programarse. También las teorías lo son, tanto las que ya han mostrado su temple como las que aún lo tienen que mostrar.

Para enfrentar el problema de la elección del método al mismo tiempo que la búsqueda de estas leyes, correlaciones, sistematicidades o recurrencias, es necesario analizar la primera fase de la tarea. Es allí donde se constituye el sistema para el que se diseña un modelo (teórico primero, formal después). Esta primera fase puede dar lugar a elegir posteriormente entre las distintas corrientes o bien cerrará todo tipo de opción y el diseñador no podrá apartarse de la corriente seleccionada.

Esta fase de recorte del sistema por parte del investigador suele ser poco atendida en ciencias naturales y en cambio ocupa un lugar preponderante en ciencias sociales. El sistema que se desea modelar debe ser delimitado. Esta delimitación no consiste en entenderlo como cerrado. Esta confusión puede provenir del hecho de que las ciencias naturales tienen entre sus objetos de estudio sistemas que son considerados aislados, como por ejemplo un sistema termodinámico que no intercambia energía ni materia con el exterior, o el sistema Tierra-Luna sin los demás componentes que los circundan. La existencia de estos ejemplos ha llevado en ocasiones a la creencia de que las ciencias naturales siempre echan mano de esta abstracción. Las ideas de “sistema abierto”, “sistema en régimen”, “equilibrio dinámico” y “sistemas complejos” muestran que las ciencias naturales no presuponen necesariamente aislación del sistema.

Cuando se estudian aspectos relativos a la salud es fundamental delimitar el organismo humano, a pesar de que nadie concibe un organismo vivo que no esté inmerso en el ambiente. Ese organismo está relacionado con lo social y está afectado por su percepción de manera que toda alteración de la salud es el resultado de interacciones fisiológicas, endocrinológicas, psicológicas y sociales. Este paradigma en salud no abandona el recorte de qué se entiende por cuerpo humano o en qué consiste el sistema circulatorio. El recorte no implica aislamiento.

Del mismo modo, para la modelización de sistemas sociales es necesario delimitar un sistema, que muy probablemente será abierto, considerar cuáles son sus límites, qué elementos, propiedades e interacciones le son propias, a qué factores está sometido en el entorno que lo rodea, de qué modo se

conceptualiza, de acuerdo a qué criterios específicos para que sea una construcción intersubjetiva y no solo una porción percibida por el propio investigador, imposible de comunicar y mucho peor, imposible de formalizar y programar. El sistema mundo en los modelos globales es un sistema cerrado (sería poco útil pensar las interacciones del planeta con el espacio exterior como relevante para la modelización). Pero los modelos globales no tratan sobre el mundo en sentido estricto sino más bien sobre la gente que vive en él. Son simulaciones de sistemas sociales, y son sistemas abiertos, puesto que interaccionan con el ambiente (son afectados por las variables que dan cuenta de la polución, la erosión de los suelos, la falta de terreno habitable, etc.)

En esa conceptualización previa a encontrar correlaciones o recurrencias, el investigador empleará términos que pueden hacer alusión a cuestiones subjetivas de los agentes a ser modelados y aun así puede no implicar la necesidad de una u otra concepción para el diseño del modelo. Se denominará a este nivel de conceptualización como el “recorte del sistema”.

El recorte del sistema no tiene la información ni la presuposición acerca de las recurrencias, influencias y correlaciones que se podrán encontrar entre sus distintos aspectos. Es un constructo del investigador pero no es (en esta etapa) la construcción de una parcela del mundo social como lo podría concebir un constructivista. Es una construcción en tanto el científico ha decidido poner el foco en cierta parte, ciertos aspectos y con cierta delimitación. Esta construcción podría tener, a diferencia de la concepción sostenida desde el positivismo (y por ende por la mayoría de las comunidades de modeladores de aplicaciones M&S) componentes no observables en el sentido de la taxonomía de cosas que el científico ve, detecta e identifica. Esa taxonomía puede encontrarse en un lenguaje preteórico a la construcción que enfrentará luego para dar cuenta de la dinámica de ese sistema. En este sentido, puede considerarse que lo que el modelador ve en el mundo, previo a la conformación de la “teoría” que conformará su aplicación M&S, son datos “crudos”. Pero estos, antes de ser incorporados a la simulación, recibirán un tratamiento que incluirá la corrección, suavización e idealización, por lo que estrictamente no serán “datos crudos” sino lo que Patrick Suppes (1969) ha denominado “modelos de datos”. Estos modelos de datos entonces reciben un tratamiento teórico, pero no son datos “teóricos” relativos a la teoría que es la aplicación M&S.

Por ejemplo, no caben dudas de que el arco iris es un fenómeno visible previo a que sepamos que es producto de la refracción de la luz. Sería un despropósito pensar que solo se observa el arco iris gracias a la teoría que lo explica. El recorte de llamarle arco iris a cierta parte del mundo registrable no proviene de la teoría que da cuenta de ese fenómeno, es previo. Sin embargo, ese recorte no es un recorte dado por la naturaleza. Hace falta que un sujeto realice un recorte que identifica de allí en

adelante. Los aspectos a ser modelados no son observables ya que hay categorías y criterios por los cuales el investigador decide construir ese recorte. Sin embargo, ese recorte preteórico, podría ser redefinido posteriormente al considerar los resultados y la dinámica que el modelo pueda poner de relieve.

Un ejemplo de variable no observable (o en otras palabras no mensurable) considerada en varios modelos globales (por ejemplo en *World2*, modelo que será reconstruido en el capítulo 7 de este trabajo) es la “calidad de vida”. Desde el sentido común es posible entender que ciertos estratos socioeconómicos poseen una mayor calidad de vida que otros. Sin embargo, no hay consenso respecto a cómo medir esta variable que depende en algunos sentidos de componentes subjetivos (una persona pobre en ciertos lugares podría tener una mayor calidad de vida que las personas ricas en otros lugares, aunque intuitivamente podemos considerar que la riqueza es un factor influyente en esta variable). La inclusión de un indicador de calidad de vida es un ejemplo excepcional entonces de uso de sentido común para la construcción de un modelo. Podría haber otros.

El modelo da cuenta del recorte, no del mundo social. Esto es equivalente a lo que ocurre en ciencias naturales. La teoría de la refracción da cuenta del arco iris como esa luminosidad en el cielo sin tomar ciertos detalles que se han dejado fuera del recorte. El investigador crea un constructo que da cuenta de otro constructo. El modelo da cuenta del recorte.

Dado que para la corriente positivista el recorte pretende ser algo que capture parte del mundo social que el grupo modelador desea comprender, es plausible que algunos investigadores se comprometan con una visión realista de los modelos (lo cual por otro lado generará *a priori* una mayor confianza en los usuarios políticos). Y dado que hay dos pasos en los que el investigador se involucra de manera creativa, la corriente constructivista tomará el modelo como mundo construido que no tiene por qué cotejarse con el entorno social que disparó el estudio.

Si el recorte no captura aspectos subjetivos y valorativos de los agentes a ser modelados, no parece necesario modelar ese recorte echando mano de la *verstehen*. En estos casos la corriente positivista parece estar en perfectas condiciones para guiar el desarrollo del modelo.

Si en cambio el recorte contempla aspectos de esa índole, los investigadores se enfrentarán a dos modos de modelar que retoman la polémica estudiada en este capítulo, pero desde una perspectiva mucho menos sustantiva. Aquí la opción será la de decidir qué papel juegan esos aspectos subjetivos de los agentes en la modelización buscada. Los objetivos del investigador pueden inclinar la balanza al hacer jugar esos aspectos subjetivos o bien de acuerdo a una distribución en la que se modelan diferentes conductas en función de frecuencias de elección de los agentes, o bien echando mano a un

proceso de comprensión.

Finalmente si tanto el recorte realizado como los objetivos del investigador quieren capturar con mayor interés estos aspectos subjetivos de los agentes a ser modelados, se impone que el investigador adhiera a la corriente comprensivista al diseñar el modelo y no parecería de interés intentar modelos positivistas que quedarían condenados a una descripción inadecuada. Aquí puede recordarse la crítica de Martin Shubik (1971) a *World2* respecto a su inadecuación por la no inclusión de variables de comportamiento humano. Pues si la concepción psicológica bajo la cual se busca capturar e interpretar los datos de comportamiento no es empirista (como la de la psicología conductista), el modelador tendrá necesariamente que apelar a alguna forma de comprensión.

Mientras que el investigador que cree haber capturado la realidad social con su modelo se siente confiado en que cambiando ciertas condiciones podrá modificar el curso de los acontecimientos, quien no identifique en el modelo otra cosa que un mundo construido estará obligado a analizar de qué modo la comunicación de sus resultados podrá ser un motor o motivo de interés para que ese sistema social en estudio pueda cambiar parte de sus prácticas y así tener una plataforma que justifique su modo de planificación social.

Nada indica que no se pueda lograr además una heurística mixta entre ambos marcos epistemológicos generales. Existen modelos de enorme complejidad donde, *por parcelas*, puedan capturarse aspectos de la realidad tanto mensurables como perceptibles vía sentido común o *verstehen*. Ciertamente podría existir un conflicto del orden de lo psicológico en el modelador, que tendría que tomar una postura realista y antirealista dentro del mismo modelo, pero afortunadamente las computadoras no poseen este conflicto. Existen aspectos mensurables que quieren representarse en los modelos y existen otros aspectos que no son experienciables por los sentidos. Expulsarlos de los modelos globales quitará dimensiones ricas en el modelado. ¿Acaso no podrían convivir en un mismo modelo dimensiones de ambos marcos? ¿Explicación y comprensión no pueden coexistir a la hora de dar cuenta de cuestiones complejas? En ciencias sociales ya se ha hecho en varias oportunidades la combinación armónica de elementos explicativos y comprensivos (p.e. Velasco Gómez, 2000). Nada indica que esto no pueda emularse en el mundo de las aplicaciones M&S.

5.6 Conclusiones

En el presente capítulo se realizó una introducción a las problemáticas estudiadas en la filosofía

de las aplicaciones M&S, a fin de analizar las ventajas de la introducción de dicho marco para el análisis de modelos globales. Se efectuó un estudio histórico de los posicionamientos que existen en dicha filosofía, rastreándolos primero hasta la disciplina conocida como *Information Systems* y luego más atrás hacia la filosofía de las ciencias sociales. Se llegó a la conclusión de que la dicotomía que causa problemas en la filosofía de las aplicaciones M&S (por tender a desplazar a una parte de la comunidad de modeladores por la metodología que utilizan) resulta una reedición de un problema clásico de las ciencias sociales. Por otro lado la propuesta de una “epistemología por parcelas” supone que la dicotomía puede colapsarse por la posibilidad fáctica de realizar modelos donde metodologías diferentes puedan combinarse armónicamente.

En el próximo capítulo se procederá a estudiar una metodología de validación de simulaciones original que pueda ser apropiada para los modelos globales (u otras aplicaciones M&S).

Capítulo 6: Validación de simulaciones

6.1 Introducción

En capítulos anteriores de este trabajo de tesis se ha mencionado en varias ocasiones la crisis de confianza que provocó la caída en desgracia de los modelos globales como método para aprender sobre el mundo e intervenir en él. Se ha profundizado sobre los motivos contextuales de dicha crisis, pero en última instancia, corresponde a la epistemología mostrar cómo puede lograrse que un determinado cuerpo de conocimiento sea confiable. Es por ello que el tópico de la validación de simulaciones aparece como un asunto central durante todo el presente trabajo. El capítulo 5 se refirió a cómo las diferencias de cosmovisión epistemológica configuran los métodos de validación a utilizar desde la filosofía de las aplicaciones M&S. Sin embargo, vimos que dicha área de la filosofía, aunque busca aportar especificidad al abordar el trabajo interdisciplinario y complejo que requieren las aplicaciones M&S para su desarrollo armónico, se encuentra en un estado muy primario, basando sus conceptualizaciones en dicotomías metodológicas anticuadas que aportan escasas precisiones epistemológicas.

Uno de los puntos principales rescatados del capítulo anterior, es que los filósofos M&S han dividido a los trabajos del área en dos grandes campos según la metodología utilizada: los positivistas, quienes mantienen una posición metafísica realista y validan sus modelos por correspondencia, y los constructivistas, quienes mantienen una posición metafísica antirrealista y validan sus modelos por consenso. Los positivistas representarían la postura hegemónica en el modelado de aplicaciones M&S, y por ende, la posición hegemónica respecto a la validación de simulaciones sería la correspondentista.

El presente capítulo se basará en la filosofía de la computación surgida desde la propia filosofía de la ciencia. Esta, si bien tiene poco tiempo de vida, al provenir de un área disciplinar con una cierta tradición, posee conceptualizaciones más profundas y detalladas y permitirán avanzar más en la identificación de los factores relevantes para obtener confianza epistémica en los modelos globales en particular y en cualquier simulación de un sistema del mundo, en general.

Para conseguir el objetivo deseado, habrá que proceder con varias tareas previas. Primeramente, fijar el rol epistémico de los modelos, y la relación entre estos y los sistemas *target*. A tal fin, se abordará la propuesta de Paul Weirich (2013), la cual a su vez requiere numerosas acciones de refinamiento que serán realizadas en este mismo capítulo. También se verificará la

compatibilidad de esta propuesta con la concepción de teoría de correspondencia *naive* que predomina en el área de las aplicaciones M&S.

6.2 Primeros pasos

6.2.1 Radiografía de la posición de Paul Weirich

Como se mencionó en la introducción, a fin de avanzar ordenadamente en la presentación de una epistemología de las simulaciones propicia para abordar la cuestión de la confianza epistémica, se tomará como base la obra de Paul Weirich (2011; 2013). Esta revela un enorme interés en las potencialidades de las simulaciones para aportar conocimiento científico novedoso acerca de fenómenos del mundo, especialmente (pero no únicamente) en forma de explicaciones científicas. Para lograr este aporte, según el autor, las simulaciones deberían poseer una cierta relación con el fenómeno, con el modelo del fenómeno y con una teoría acerca del fenómeno, relación que se precisará a lo largo de este capítulo. Ahora puede adelantarse que para Weirich la relación entre la teoría y la simulación no sería de subsunción, es decir, la simulación no (siempre) se seguiría linealmente de la teoría, sino que (muchas veces) poseería elementos novedosos que le harían tener, como propone Eric Winsberg (2010, p. 44), “una vida propia”. Esto pone a Weirich en la línea de Winsberg y de Margaret Morrison (2015) y lo aleja de posiciones como la sostenida en Roman Frigg y Julian Reiss (2009), quienes aseveraron que no hay nada epistemológicamente novedoso en las simulaciones, no debiendo considerarse a las mismas una “nueva metodología” sino tan solo una nueva manifestación de metodologías antiguas, como la experimentación, el modelado y la experimentación mental.

La clase de simulaciones que Weirich tiene en mente es la de aquellas que imitan fenómenos del mundo, ya que se basan en modelos que tienen justamente esta pretensión. Estas simulaciones buscan explicar el fenómeno identificando los factores relevantes para la ocurrencia del fenómeno, cosa que se logrará si la simulación es capaz de reproducir el fenómeno con los elementos hipotéticos programados en su estructura y parametrizados en sus condiciones iniciales. Esto deja fuera del alcance de su obra otros tipos de simulaciones como aquellas que Michael Weisberg (2013) denominó “simulaciones sin *target*”, que emulan sistemas imaginarios (p.e., universos donde la constante gravitatoria es diferente de la que regula la fuerza de atracción gravitatoria en el universo que habitamos). Las simulaciones en las que Weirich se enfocó actuarían como “mediadores” en uno de los sentidos propuestos por Morrison (p.e. 2015). Para esta autora, a veces los científicos modelan sistemas físicos para ver qué leyes o conceptos de una teoría pueden

aplicarse a fin de obtener explicaciones o predicciones en el sistema, mientras otras veces, se parte desde las teorías a fin de aplicar leyes altamente idealizadas o abstractas a un modelo que representa un sistema. Está claro que Weirich se centró en modelos que cumplen la primera de las funciones mediadoras, donde el interés radica en el sistema del mundo representado y no en el desarrollo de una teoría *a priori* abstracta. Lo mismo sucede con los diseñadores de modelos globales, cuyo interés está en el desarrollo de conocimiento acerca del sistema mundo y en el desarrollo de políticas y decisiones para mejorar aspectos relevantes de su funcionamiento.

Weirich sostuvo la tesis de que un modelo es un mundo posible afirmando “le permito ser un mundo pequeño, que incluya sólo las características bajo investigación” (2011, p. 156). Por otro lado, una simulación, para este autor, es un tipo abstracto de entidad que puede tener muchas instanciaciones a las que denominará “simulaciones concretas”. Cada corrida de simulación generará un “sistema natural” (mundo posible) que puede compartir las propiedades físicas del sistema que imita. La simulación “descansaría” sobre un modelo, y la conceptualización de Weirich se ocupa de aquellos modelos que tienen intencionalidad explicativa, la cual sería lograda al imitar apropiadamente un fenómeno del mundo *target*. La simulación que “descansa” sobre este tipo de modelos sería explicativa, y buscaría también imitar la producción del fenómeno objeto.

La relación que hay entre modelo y simulación, para este autor, es que esta última “representa” al modelo que subyace en él al compartir sus propiedades estructurales, y este comparte a su vez (algunas) características estructurales relevantes con el mundo *target*. Si se comparten dichas características estructurales, la simulación, a pesar de tener (algunos) presupuestos falsos, proveerá conocimiento nuevo en forma de explicaciones llamadas “parciales”. Se profundizará luego en la naturaleza de la relación. Baste por ahora señalar la adherencia de Weirich a posiciones representacionistas de los modelos (p.e. Weisberg (2013), quien afirmó que las simulaciones son una clase de modelos, que representan en función de su estructura interna), y se aleja de posiciones antirepresentacionistas (p.e. Tarja Knuutila (2005), quien propuso que los modelos son solamente artefactos heurísticos, sin necesidad de que representen nada del mundo).

Se utiliza en este trabajo de tesis la terminología “mundo *target*” para referir al mundo que se pretende modelar. Esto evita utilizar “mundo real” lo que llevaría a discusiones sobre el conocimiento que se posee de este mundo y su ontología. Esto distancia al presente trabajo de la posición realista *naive* de Weirich. Esta terminología es habitual al referir también a escenarios contrafactuales,¹ lo cual es muy pertinente dado que cada corrida computacional del modelo es un ensayo de posibles evoluciones del sistema y en tanto son escenarios posibles, todos menos uno jamás serán instanciados en el mundo efectivo.

1 Véase Lewis (1973).

Un mundo posible está dado por una proposición maximalmente consistente. Es decir, toda información que quiera agregarse, o bien es redundante o bien es contradictoria con la información previa.

Equiparar el modelo virtual a un “mundo posible”, noción trabajada principalmente en la obra de Saul Kripke (p.e. 1959) y de David Lewis (p.e. 1986), ha resultado fructífero en muchos aspectos y aquí se aprovechará a explorar nuevas aristas de esta aproximación, la cual representa el punto más relevante y novedoso del enfoque de Weirich respecto a otros en el área, y se considerará en virtud del uso de esta noción que vale la pena abordar sus ideas, aunque desde una perspectiva de complementariedad crítica. Este enfoque permite arrojar luz sobre distintas características del funcionamiento de los modelos y simulaciones en la generación de conocimiento científico, aunque Frigg y Reiss (2009) afirmaron que es aplicable a otras prácticas como por ejemplo la experimentación en laboratorio.

Partridge *et al.* (2013) mencionó lo ventajoso del enfoque: provee consistencia semántica para hablar de los entes del mundo posible y simplifica el marco ontológico en el modelado, pues se abogará por una ontología que imite lo mejor posible al mundo *target*. Más adelante, en este capítulo, se verá que no siempre un modelo fértil para la comprensión de los fenómenos del mundo *target* cumple con la condición de imitar su ontología. Basta con rescatar correlaciones o mecanismos que echen luz sobre ciertos fenómenos por medio de analogías o metáforas a pesar de no reproducir la ontología ni siquiera en forma aproximada ni en sus elementos ni, estrictamente, en sus relaciones.

En Weirich (2013), se retomó esta idea para profundizar la tesis de que las simulaciones pueden proveer una forma particular de explicación científica, a saber, “explicaciones parciales”. Por supuesto, no todas ellas. Por ejemplo, hay simulaciones que no buscan explicar sino predecir, como ocurre con algunos modelos climáticos. Este tipo de simulaciones no incluye a los modelos globales, por lo que quedarán fuera del alcance del presente trabajo de tesis.

Weirich entonces planteó utilizar la noción de mundo posible, y luego afirmó, siguiendo a Sugden (2002) que:

El mundo posible describe para cada objeto del mundo sus propiedades y relaciones con otros objetos en el mundo. Esta caracterización coincide con muchos modelos [...] Si un modelo deja algunos eventos indeterminados, no será un mundo posible sino una clase de mundos (Weirich 2013, p. 107).

A continuación, aseveró que los eventos del mundo posible descriptos en el modelo dependen de los principios de ese mundo. A su vez, los principios del modelo explican lo que ocurre

en el modelo y eso que ocurre depende también de las condiciones iniciales. Planteó Weirich que el modelo tomado como un mundo posible no ofrece en sí mismo una explicación: no hay *explanandum* ni *explanans* en sí mismo. Pero típicamente sí señala el fenómeno a ser explicado en el mundo *target*, especificando el fenómeno objetivo.

La explicación del fenómeno en el modelo, mientras que explica totalmente las instancias del fenómeno en el modelo, sólo será parte de la explicación en el mundo *target*.

Dado que los modelos se construyen a través de idealizaciones que no se cumplen en el mundo *target*, el modelo no puede ser igual a este. Las leyes en el modelo no son las leyes generales que gobiernan el mundo *target* sino leyes simplificadas, pero así y todo pueden detectar algunos de los factores relevantes y por tal motivo las explicaciones en el modelo son explicaciones parciales del fenómeno del mundo *target*. A medida que se vaya agregando detalles al modelo, las explicaciones generadas por la simulación derivada de él serán de grano más fino, debido al proceso de desidealización. Estas explicaciones serán más parecidas a la total (aunque nunca dejarán de ser parciales), y por ende los mundos posibles de la simulación serán más parecidos al mundo *target* en sus aspectos relevantes.

Según Weirich las leyes en los modelos se derivan de leyes del mundo *target*, aunque con restricciones específicas, y esa relación hace que las leyes que se usan para explicar en el modelo expliquen al menos parcialmente los fenómenos del mundo *target*.

Weirich (2013) se enfocó en las explicaciones causales. La causa es un tipo de razón por la que ocurre un fenómeno determinado (aunque no toda razón es una causa). El autor planteó que “una explicación causal parcial de un evento tiene en el *explanans* algunas de las causas del evento” (2013, p.110). Es decir, que algunas variables causalmente relacionadas con la variable a ser explicada se encontrarán en el *explanans*. Puede verse una representación simplificada de la posición de Weirich en la Fig. 6.1.

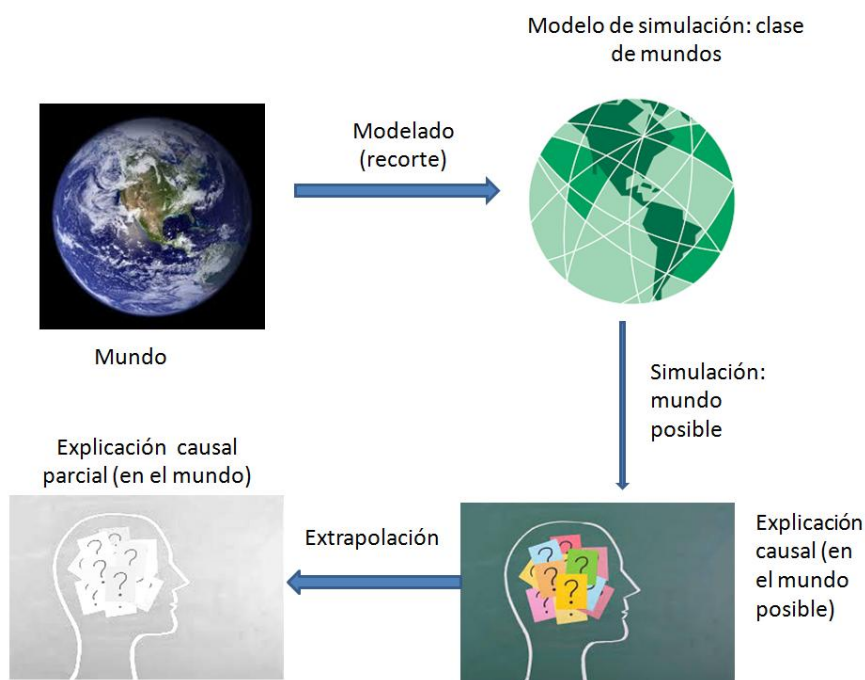


Fig. 6.1: representación simplificada de la posición de Weirich, elaboración propia.

6.2.2 El problema del recorte del mundo: relevancia e idealizaciones

En este trabajo de tesis se considerará acertado el uso de Weirich de la semántica de mundos posibles para las simulaciones y la caracterización de su poder explicativo. Las explicaciones causales también serán consideradas las indicadas para comprender la función explicativa en los modelos globales.

A su vez se coincidirá en la afirmación de que todo modelo que pueda ser interpretado como no totalmente especificado, representa una clase de mundos: cada parámetro modificado, aunque se trate de una variable a la cual el modelo es poco sensible, representa un mundo posible diferente. Por ello, todo modelo que no tiene explícitamente especificado algún aspecto permite ser tratado como un conjunto no maximalmente descripto y por lo tanto deja abierta la interpretación de representar un conjunto de mundos posibles. Esta forma de entender los modelos permite tratarlos como aproximaciones sucesivas al mundo *target* en la medida que se agregan especificaciones de forma explícita y no por una cláusula de completitud.

Sin embargo, Weirich, al reconocer que un modelo que no tiene totalmente especificados ciertos eventos constituye una clase de mundos posibles y no un solo mundo posible, pasó por alto que hay otro nivel de inespecificidad, referida a las correlaciones y no a los eventos.

Un modelo podría no especificar los eventos porque no se han fijado los parámetros que determinan las condiciones iniciales. En este sentido sería una clase de mundos posibles, pero todo mundo posible de esa clase tiene las leyes o correlaciones que hemos decidido idealizar del mundo *target*. Siguiendo a Frigg y Hartmann (2017) habría dos formas de idealización: la abstracción (o idealización aristotélica) consiste en la selección y aislamiento en el modelo de variables del *target* que se consideran relevantes (y el consiguiente abandono de las demás), mientras que la idealización galileana es la distorsión deliberada de alguna variable (como en los planos sin fricción de la mecánica clásica) con un fin determinado, en general la simplificación del tratamiento matemático del modelo.

Hay entonces un conjunto de correlaciones que pretende imitar al máximo posible (dentro de las restricciones impuestas por las abstracciones e idealizaciones galileanas y por los artilugios para su computabilidad) a las correlaciones del mundo *target*. Aun sin especificar las condiciones iniciales, no habría más correlaciones que agregar. Este modelo corresponde a una clase de mundos con el mismo paquete de leyes.

Al especificar maximalmente las condiciones iniciales en esa clase, se restringe la clase de mundos posibles obteniéndose un subconjunto.

Ahora bien, si el paquete de leyes incluye alguna correlación estadística, aun cuando se especifiquen maximalmente las condiciones iniciales, no se habrá determinado uno y sólo un mundo posible: simplemente se ha acotado la clase, dado que cada instanciación de una variable estadística fija un mundo posible diferente. Así, si un modelo representa la tirada de un dado y bajo las mismas condiciones iniciales puede evolucionar para dar por resultado un 3 o un 6, esas dos evoluciones del modelo corresponden a dos mundos posibles diferentes en el sentido estricto de los eventos, aunque no en el sentido de las correlaciones. Esta distinción no debe llevar a pensar que se está modelando mundos *target* diferentes.

En cuanto a la construcción del modelo, aquellos con menor cantidad de idealizaciones serán mundos posibles más cercanos al mundo *target*, aunque nunca podrán ser exactamente iguales al mundo *target*. No hay modelo sin recorte del mundo.

También se advierte que la afirmación de que las explicaciones causales que se obtienen a través de las simulaciones son parciales resulta algo trivial: todas las explicaciones causales son parciales, puesto que hay multiplicidad de causas legítimas que no son capturadas en los modelos. Muchas son ciertamente poco interesantes. Parece cierto que una de las causas de la muerte de John Fitzgerald Kennedy haya sido que estuviera vivo e incluso su propio nacimiento operaría como una condición necesaria y por lo tanto relevante, pero a nadie se le ocurriría incluirla dentro de las causas relevantes en una investigación que modelara al mundo *target*, a pesar de que es verdadero

que “de no haber nacido Kennedy, su asesinato jamás habría tenido lugar”. Nótese que por un lado las condiciones relevantes podrían no ser tratadas como causas, pero en ese caso se podría argumentar que la división entre causas y condiciones no es clara y depende de criterios contextuales. Por otra parte se podría evitar la aparición de estas presuntas causas anti-intuitivas apelando a la estrategia de mencionar que el “nacimiento de Kennedy” no es un evento separado del “asesinato de Kennedy” ya que la misma noción de asesinato asume que la víctima estaba viva.

De cualquier modo queda planteada la dificultad de la selección de causas como factores relevantes o causalmente conectados. Otro nivel de la discusión apunta a otra dificultad asociada a que son muchos los factores conectados con los efectos pero no por eso son tomados como causas. Hasta ahora la noción de causa se podría tomar como aquello que “de no haber ocurrido, el efecto no habría tenido lugar”² o bien aquello que está conectado con el hecho a explicar mediante correlaciones o mecanismos. Otro criterio posible sería pensar que para ser considerado algo como causa debería encontrarse que, de haber ocurrido de modo diferente cierto evento, presuntamente causante del efecto, entonces el efecto habría tenido lugar de modo diferente.³ Esto es, que se encuentre un patrón de variación entre los modos de ocurrir de un evento y el hecho a explicar. Este criterio no supera al anterior porque ahora cuenta como causa todo aquello que modifique los modos en que tuvo lugar el efecto, aun cuando en vez de producirlo lo atenúa, lo retrasa o simplemente modifica aspectos del efecto. Un ejemplo de ello son los cuidados intensivos de un paciente terminal que modifican notablemente los modos en que finalmente tiene lugar la muerte, pero no deberían contar como causa de su muerte. Si el foco se realiza en cambio en teorías que hacen descansar la correlación causal en mecanismos, intercambio de cantidades físicas o transporte de señales,⁴ o bien en correlaciones entre la ocurrencia de la causa y el aumento de la probabilidad de ocurrencia del efecto,⁵ suelen encontrarse también casos de asignación de roles causales espurios por la sola coincidencia espacio-temporal de episodios, varios de ellos transportando señales, información, cantidades físicas, etc., pero irrelevantes para los aspectos que quieren modelarse en la ocurrencia del efecto.

Sea cual sea la teoría causal que se asuma, debe enfrentarse varios tipos de recorte de factores causalmente relevantes para explicar el fenómeno. Reconocer este problema no hace que los modelos sean deficientes. Más bien hace que se admita y reconozca la incompletitud de las explicaciones de un fenómeno del mundo *target* por medio de señalar dificultades inherentes al acceso epistémico al mundo *target* y no como deficiencias en el diseño del modelo.

2 Se trata de la primera versión de la teoría contrafáctica de la causación de Lewis (1973).

3 Modificación de la teoría contrafáctica por la teoría de la influencia causal. Véase Lewis (2004).

4 Véase Dowe (2000) para una reseña de este tipo de teorías físicas de la causación.

5 Véase Mellor (1995).

Con estas consideraciones este trabajo de tesis se aparta drásticamente de la noción de explicación señalada por Weirich, según la cual, todo evento relevante conectado en el cono de pasado del episodio a explicar forma parte de la explicación completa del fenómeno, ya que pasa por alto conexiones como las señaladas que no operan como causas a pesar de estar conectadas por leyes conocidas. Su forma de conceptualizar una explicación completa funciona más bien como un *desideratum* de conocimiento que no distingue entre factores productores, retardadores o aceleradores y factores conectados mediante aspectos no relevantes del suceso, aun cuando son relevantes para los modos en que tuvo lugar el suceso a ser explicado.

Dado que estas advertencias no se dirigen a la crítica del diseño del modelo sino a la noción de explicación, tanto los modelos como los experimentos físicos son alcanzados por estas preocupaciones, aun cuando los experimentos tienen conexión causal con los detectores del mundo *target* y los modelos solo están llamados a arrojar resultados que deben ser interpretados como correspondientes a ciertos medidores.

Al plantear que un modelo puede explicar un fenómeno, se afirma que el modelo explica en la medida que esos resultados surjan al fijarse las condiciones iniciales y las correlaciones incluidas: el fenómeno debe ser reproducido en el *output* del modelo. Dicho esto, exigirle a un modelo que sea explicativo equivale a exigirle las mismas condiciones que a los esquemas nomológico-deductivos o estadístico-inductivos propuestos por Hempel (1965). Se plantea también que las simulaciones tienen un valor epistémico adicional al permitir manipular las condiciones iniciales y correlaciones, que aporta una ventaja frente al valor de manipulación experimental empírico. En un laboratorio puede variarse sistemáticamente las condiciones iniciales para obtener un mayor convencimiento de que ciertas condiciones son capaces de hacer aparecer un resultado particular, y ese proceso muestra que son esas y no sus vecinas las condiciones que lo causan. De este modo la manipulación experimental provee un apoyo contrafáctico a las explicaciones nomológico-deductivas. Estas condiciones iniciales son parte de la explicación del fenómeno porque al variarlas no se obtiene el mismo resultado. Esta manipulación, en los experimentos físicos, no puede realizarse con las correlaciones. Los modelos suman este apoyo adicional al esquema explicativo, permitiendo la manipulación tanto de condiciones como de correlaciones, mostrando que si las condiciones iniciales no hubiesen sido esas dentro de un entorno, el resultado no habría sido el mismo. Todo esto aporta un apoyo adicional, pero no constituye la base explicativa, ni del modelo nomológico hempeliano ni de los modelos y simulaciones. Sobre la discusión acerca del estatus epistemológico de las simulaciones frente a los experimentos físicos se profundizará en el próximo capítulo.

En resumen, lo dicho no les quita importancia epistemológica a las simulaciones, ya que no es privativo de ellas presentar limitaciones. Por el contrario esto ocurre con todo modelo y toda

teoría. Siempre dan cuenta de un recorte simplificado del mundo, y por ende algo queda siempre afuera. Pero la forma que los científicos poseen de conocer los fenómenos, aunque parcial, resulta más que suficiente para avanzar en ciencia y tecnología, y cada vez permite parcialidades más complejas y de mayor ajuste empírico. La discusión de si se podrá en algún momento lograr explicaciones totales parece no llevar a buen puerto ya que el conjunto de causas puede ser infinito⁶ al igual que los episodios irrelevantes en el pasado del hecho a explicar.

En definitiva, toda explicación es, al menos en ciencias empíricas, parcial. Por el contrario, explicar que un teorema es tal debido a que se deduce de un conjunto de axiomas en un sistema formal, sí constituiría una explicación completa dentro del sistema axiomático, pero las ciencias formales no son objeto del presente trabajo de tesis.

Ontológicamente, entonces, ningún modelo da cuenta del mundo *target* por completo. Hay un recorte y una cláusula de completitud que engloba a una serie de variables que se consideran irrelevantes y por ello no se las incluye explícitamente en el modelo, pero a ciencia cierta no se sabe si de hecho alguna variable de interés no se ha escapado del análisis.

Finalmente, puede notarse cómo el análisis propuesto expone una heurística de trabajo con modelos de simulación para encontrar distintas explicaciones causales. Si cada corrida de simulación representa un mundo posible,⁷ los fenómenos emergentes serán explicados causalmente por las distintas condiciones iniciales que son fijadas por el usuario del simulador y por la dinámica de esa clase de mundos posibles, subyacente en los atributos y relaciones fijados por el programador en el código. Variando las condiciones iniciales poco a poco se generarán más mundos posibles.

6.2.3 *Modelado de fenómenos caóticos*

Podría ocurrir que mientras más similares sean dos conjuntos de parámetros, más parecidos sean los dos mundos posibles que se construyan a partir de estos y así se podría ver en qué medida cada variable es responsable del fenómeno emergente y se podrían desarrollar explicaciones causales más finas, o de grano más fino, sobre dicho fenómeno. O bien, podría ocurrir que pequeñas diferencias en los valores de los parámetros den lugar a evoluciones drásticamente apartadas entre sí, manifestando la presencia de fenómenos de tipo caótico. En ese caso, las diferentes corridas podrían mostrar las zonas en las que se ubican los puntos críticos de las variables responsables de las bifurcaciones.

6 Nótese que el nivel de especificidad y detalle esperado en la explicación fija el rango de relevancia de cuáles causas es indispensable relevar y cuáles pueden quedar en segundo plano.

7 Salvo en los casos indeterministas en los que corresponden a clases de mundos.

Un ejemplo de modelo caótico muy presente en la literatura es el llamado “mapa logístico” (ver por ejemplo Mitchell (2009), Feigenbaum (1980), Hofstadter (1985)). Se trata de un modelo que da cuenta de la dinámica de una población simplificando los efectos combinados de nacimientos y muertes en un término llamado R , y reemplazando la población por un factor x (fracción de capacidad de carga). $x(t)$ es el valor de x en un tiempo t , mientras que $x(t+1)$ es el valor luego de un escalón de tiempo. La ecuación que representa este modelo es $x(t+1)=R \cdot x(t) \cdot (1-x(t))$.

El gráfico de la figura 1 representa en abscisas el tiempo t y en ordenadas los valores de $x(t)$. La línea negra representa los valores de la ecuación logística con $R=4$ y $x(0)=0,2$, mientras que la línea punteada celeste representa los valores de la misma ecuación, también con $R=4$ pero con un $x(0)=0,200000000001$. Puede observarse que si bien hasta un $t=35$ ambas curvas coinciden casi de modo perfecto, luego de dicho valor la curva punteada comienza a separarse, exhibiendo un comportamiento muy diferente del que posee la curva llena. Esto denota aquello que se mencionó más arriba: una muy pequeña diferencia en un valor inicial (en este caso un valor de 1×10^{-10}) provoca una evolución drásticamente distinta. Diferentes corridas de simulación permiten encontrar que el valor crítico que provoca el caos se encuentra en $R=3,569946$, modificando el comportamiento oscilatorio habitual de la ecuación por el exhibido en el gráfico.

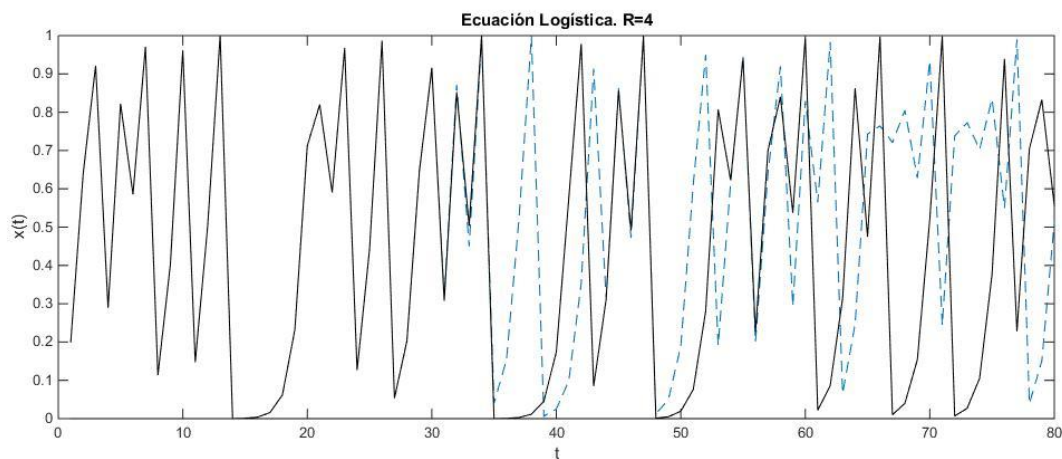


Fig. 6.2: Representación gráfica de la ecuación logística efectuada en un *software* con algoritmos de alta precisión.
(Elaboración propia con Mathworks MATLAB)

Lo que acaba de ilustrarse con el ejemplo puede acarrear consecuencias muy importantes. Esta cuestión obliga a trabajar con enorme precisión para poder predecir el comportamiento caótico y eso puede pasarse por alto fácilmente o ser virtualmente imposible. No sólo habrá problemas si el dato es medido (debiendo prestarse mucha atención a los sensores y métodos estadísticos de

disipación de error) sino que también se deberá tener especial cuidado con que el *software* utilizado para el procesamiento de los datos no efectúe redondeos indeseables. Por ejemplo, un gráfico de la misma función que la exhibida en la figura 1 pero efectuado con una planilla de cálculo estándar, aún trabajando con diez decimales de precisión, arroja como resultado el gráfico de la figura 2.

Aquí puede notarse que el comportamiento caótico no se ve reflejado, lo que evidencia la dificultad que puede tenerse en las simulaciones aún manejando *inputs* con gran cantidad de cifras significativas.

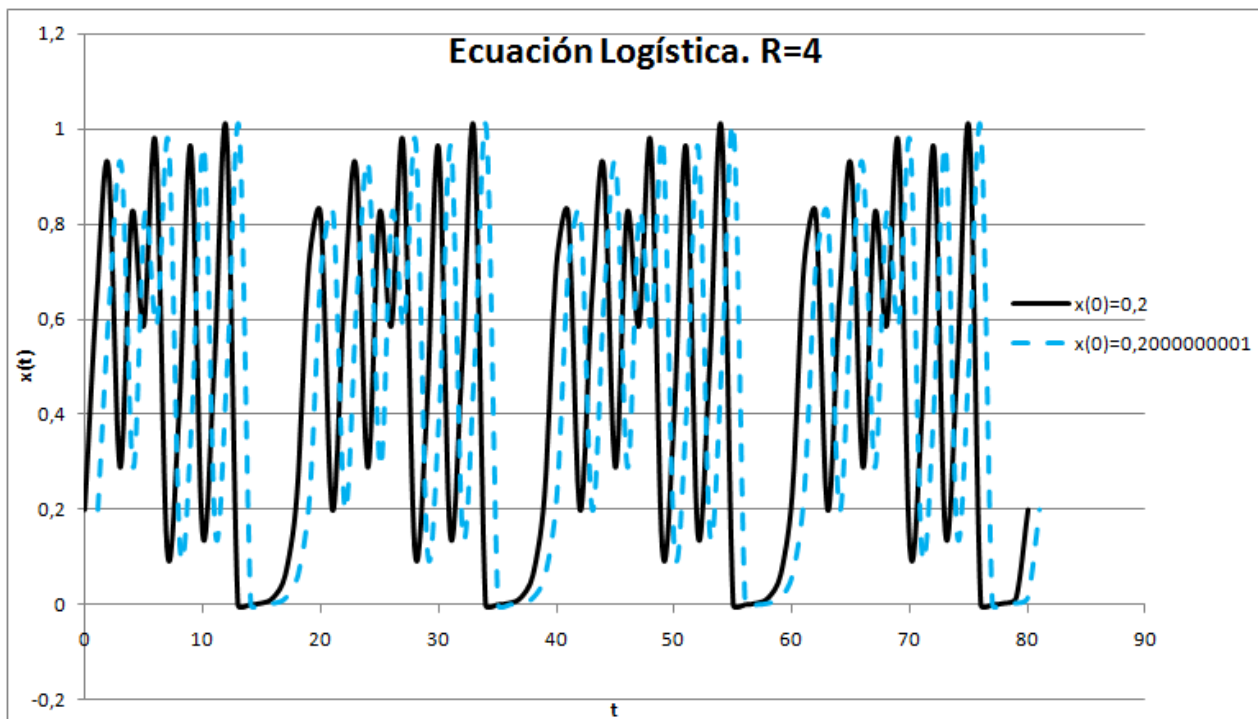


Fig. 6.3: Representación gráfica de la ecuación logística en una planilla de cálculo *standard*. (Elaboración propia con Microsoft Excel)

Puede concluirse del ejemplo que los fenómenos caóticos son especialmente problemáticos para la extrapolación de resultados fuera del rango de calibración del modelo. Una simulación diseñada mediante un algoritmo de ajuste que se limite a “salvar los fenómenos” correrá el riesgo de resultar inútil fuera de dicho rango, e incluso podría, al no captar la naturaleza caótica en su código, presentar un mecanismo que, ante pequeñas divergencias, presente *outputs* erróneos, y lleve por ende a los usuarios a tomar malas decisiones. En las próximas secciones se profundizará sobre esta cuestión.

6.3 La validación del modelo

6.3.1 El problema de la representación

Ahora bien, la extrapolación de las explicaciones desde el modelo al mundo *target* es un asunto diferente al problema de la construcción del modelo y depende de su validación. Es decir, será válido trasladar una explicación desde los mundos posibles al mundo *target* en la medida que se considere que la simulación es válida. Decir que se ha validado una simulación es lo que permite exportar la explicación hacia el mundo *target* emulado. Finalmente la validez del modelo viene dada por la aceptación en la comunidad científica.

Ahora bien, Weirich si bien reconoce la existencia de variables poco relevantes no aporta una manera de distinguir dichas variables de las relevantes para la explicación. En Weirich (2011) planteó como condición para efectuar explicaciones parciales que el modelo (y por ende la simulación) sean isomorfos con el sistema *target*:

Una explicación parcial surge de un tipo de isomorfismo y no sólo similitud [como propone Giere (1988)], entre un modelo y un sistema natural. Un modelo explicativo ofrece una explicación parcial porque algunas de sus características se corresponden uno-a-uno a algunas características del sistema natural y comparten algunas características estructurales con aquellas características del sistema natural. Suponga que un sistema natural involucra un fenómeno *a* y dos factores explicativos *b* y *c*, y el modelo controla *c* para investigar la influencia de *b* en *a*. Suponga que una ley para el modelo de un factor sostiene que *Rab*, y una ley para el sistema natural de dos factores sostiene que *Sabc*. El tipo requerido de isomorfismo se sostiene si la primera ley es una instancia de la segunda ley. (Weirich, 2011, p. 163).

Weirich tomó la condición de isomorfismo de Bas van Fraassen (1980), quien la propuso como condición de adecuación empírica. Ambos utilizan esta propiedad como condición necesaria y suficiente para que un modelo represente a un *target*. Weirich (2013), de hecho, fue explícito al afirmar que en su concepción la explicación no implica componentes subjetivos ya que se sostiene en aquello que el modelo y el *target* tienen en común en las representaciones exitosas. En el lenguaje de Mauricio Suárez (2003), se trata de una teoría “naturalizada” de la representación científica, pues no precisa de ningún componente pragmático.

Si bien Weirich no estaba tratando de proveer una teoría sustantiva de la representación científica (nunca afirmó que la representación científica se agote en el tipo de isomorfismo que defiende como condición para poder proveer explicaciones parciales válidas), cabe señalar que su posición sigue siendo problemática para definir una metodología para validar modelos y simulaciones.

Desde Nelson Goodman (1976) hasta Suárez (1999) y (2003), por ejemplo, se ha mostrado la irrealizabilidad de la representación naturalizada: el componente pragmático resulta inescindible de los procesos de representación. Esto no significa que dicho componente sea el único necesario y que, con buena voluntad, cualquier cosa sea capaz de representar a cualquier cosa, como en Callender y Cohen (2006), al menos en ciencias. Una buena simulación, capaz de generar conocimiento sobre el sistema que representa, debe compartir algunas características relevantes con dicho sistema. Sin estas, las buenas intenciones de los agentes cognoscitivos no alcanzarán para que se obtenga conocimiento válido alguno. Pero son dichos agentes quienes decidirán en cada caso cuáles serán las variables relevantes, y también serán ellos quienes considerarán si las mismas han sido capturadas con el suficiente grado de precisión según el objetivo de cada modelo.

Resulta problemático además que Weirich pretenda que la condición de isomorfismo sea con el sistema natural, puesto que implica la posibilidad de conocer *a priori* la estructura de dicho sistema, cosa que lo pone en una posición metafísica realista epistemológica difícil de sostener. Una posición más cautelosa como la que se sostendrá aquí es que el morfismo de estructuras será entre el modelo de simulación y las mejores teorías disponibles sobre el mundo *target*, o el modelo de datos, definido a la manera de Patrick Suppes (1969), en caso de que tal teoría no existiese. Este modelo de datos está basado en preconcepciones teóricas de los modeladores, y podría constituir la mejor descripción del mundo *target* al no contar con una teoría específica acerca de los fenómenos de interés. Esta mirada es compatible con la que propuso Scolnik (1979), del Modelo Mundial Latinoamericano, quien, como se vio en el capítulo 4, afirma que antes de conformar la simulación (a la cual denominó “modelo formal”) se debe componer un modelo (el modelo teórico), que funciona como “discurso acerca del mundo”.

6.3.2 La Teoría de la Correspondencia

En todo caso, está claro que no debe darse lugar a la aceptación de un modelo que haya sido ajustado para dar como resultado los eventos o fenómenos del mundo *target*, si no cumple con alguna forma de morfismo estructural con el modelo de datos del *target*. Esto es, se rechaza la idea de validación solamente por correspondencia de eventos, que consiste en afirmar que un modelo es válido si y solo si, los *outputs* del mismo se corresponden con lo medido en el mundo *target*. Una validación de este tipo puede lograrse con cualquier tipo de correlación que asegure los resultados numéricos a pesar de no coincidir los mecanismos. Un ejemplo consiste en modelar la caída de los cuerpos en la atmósfera mediante una física que otorgue mayor aceleración a los cuerpos más

pesados y no con aceleración de la gravedad constante y fricción con el aire. Utilizando una teoría como la física aristotélica podría darse cuenta de los mismos *outputs* sin que el modelo reproduzca los mecanismos causales del mundo target, con el consiguiente peligro enfatizado en la sección anterior sobre modelos de fenómenos caóticos.

De acuerdo a la teoría de la correspondencia, la verdad causa una *correspondencia* en términos de una *analogía* o equivalencia entre dos *relata*. El primer *relatum* de una relación diádica son *declaraciones*. La capacidad para la verdad determina la característica de las declaraciones. Al correlacionar declaraciones y hechos, los primeros pueden ser clasificados como verdaderos o falsos. Los hechos entonces representan al segundo *relatum* en el contexto de la visión correspondentista, y actúa como *inductor de verdad* para las declaraciones, debido a su estatus asumido como objetivo. (Becker *et al.*, 2005, trad. propia, énfasis de los autores)

Pero la idea correspondentista tiene algunos problemas, principalmente en los términos “correspondencia” y “hecho”.

Si el término “correspondencia” es entendido como *analogía* o *equivalencia* en términos de *reproducción correcta*, esto no es más que un refraseo de la verdad, la explicación que debería haber sido objeto de la investigación. La solución a este problema puede ser encontrada en la operacionalización del término “correspondencia” por Wittgenstein, designada como *teoría de la imagen* [en el *Tractatus Logico Philosophicus*]. La teoría de la imagen conecta la correspondencia a dos condiciones:

- i. Los elementos de una declaración representan elementos apropiados y correspondientes de un hecho (*condición semántica*).
- ii. Los elementos de una declaración están estructurados entre ellos como elementos de un hecho (*condición de consistencia estructural*).

Esta deconstrucción del término “correspondencia”, presenta otro problema: el poco claro término “*identidad estructural*”, que no puede ser definido en forma perfecta y exacta. Así, la teoría de la imagen crea el dilema de que requiere ya sea una clarificación del término “verdad” o de que éste sea sustituido por el término aún menos claro “*identidad estructural*”. (*Id.*)

Cierto es que la Teoría de la Correspondencia presenta dificultades, como señalaron Becker *et al.*, pero también representa el medio de validación de teorías científicas más intuitivo (al menos en posiciones ontológicas y epistemológicas realistas) y fácil de entender y aplicar. Por este motivo también es el medio de validación más utilizado para los modelos de simulación.

De hecho, en Oberkampf & Roy (2010) se afirmó que la “Validación es el proceso de evaluar la exactitud física de un modelo matemático basándose en comparaciones entre los resultados computacionales y los datos experimentales” (p. 13). Esta posición no es nueva, sino tradicional en el área. La *Society for Computer Simulation* (SCS) propuso desde sus comienzos la

siguiente definición de “validación de un modelo”: “sustanciación de que un modelo computarizado dentro de su dominio de aplicabilidad posee un rango de exactitud satisfactorio consistente con la aplicación intencional del modelo” (Schlesinger, 1979, p. 103). Un diagrama posterior, en el mismo texto, exhibía el proceso de contrastación con la “realidad”, asentando la concepción ontológica de la comunidad científica en cuestión. Así, no quedan dudas de que la validación de modelos, como se entiende en el área de las simulaciones, implica el uso de alguna versión de la Teoría de la Correspondencia. Esto implica que el proceso de validación tomará los *outputs* de la simulación bajo un conjunto predeterminado de condiciones iniciales (las salidas harán las veces de las consecuencias observacionales deducidas de las leyes/hipótesis para la Concepción Heredada) y esto se comparará con mediciones efectuadas en el mundo físico. Esta forma de pensar las validaciones, como ya se ha visto no es la única posible, pero sí la más utilizada en el área de *Modeling & Simulation*.

Puede notarse que la Teoría de la Correspondencia parece no necesitar conocer la estructura de la simulación que intenta validar, ya que la única materia prima que necesita son los conjuntos ordenados de *inputs* y *outputs* a fin de compararlos con los equivalentes del mundo base, o, en términos de la SCS, la “realidad”.

El no conocer la estructura de la simulación podría tener consecuencias importantes a la hora de pensar el estatus epistemológico de la misma: ¿puede tenerse confianza en una simulación si se desconoce las relaciones y funciones que le dan contenido, sólo con verificar una serie de coincidencias entre los resultados que arroja y mediciones empíricas?

Para contestar esta pregunta, vale la pena abordar un experimento mental presentado por Worrall (2014). Allí se presentan dos investigadores imaginarios I1 e I2 que deben realizar una predicción sobre el resultado de la centésima tirada de una máquina determinística de lanzamientos de monedas. La máquina produce 99 lanzamientos aparentemente azarosos, los cuales son observados por I1, y le sirven de materia prima para formular su hipótesis acerca de los 99 lanzamientos y también sobre el centésimo. Es decir, I1 acomoda su hipótesis a las 99 tiradas. En cambio, I2 formula su hipótesis sobre la centésima tirada sin tener en cuenta las 99 tiradas anteriores, y de hecho es capaz de predecirlas. ¿En cuál de los investigadores debería confiarse? Worrall afirma que “el éxito predictivo de I2 con las primeras 99 tiradas sugiere fuertemente que tiene conocimiento acerca del mecanismo de la máquina lanzamonedas” (p. 60) y por ende, resulta evidente que debería confiarse en él.

Lo que puede notarse del experimento mental es que si la decisión sobre el investigador más confiable tuviera que realizarse sobre la base del éxito de sus predicciones, ambos investigadores resultarían igualmente confiables, ya que no sería necesario conocer el procedimiento que siguieron

para llegar a sus respectivas hipótesis, ya sea calibrando su modelo con los resultados empíricos de las tiradas de las monedas o basándose en una teoría fiable sobre el funcionamiento de la máquina.

Si, por otra parte, la única tirada valiosa fuera la centésima, habría que esperar a que dicha tirada sucediese para elegir al mejor investigador. Esto no se visualiza grave en el experimento mental de Worrall, pero en el caso de los modelos globales, que pretenden aportar información sobre hechos que sucederían en 20, 30 o 50 años, resultaría serio.

El nivel conjetural de las correlaciones incluidas en el modelo es el mismo nivel conjetural que tienen las mejores teorías aceptadas hasta el momento. Dicho de otro modo, el modelo no puede ver correlaciones en el mundo si no es a través de las teorías, por lo cual no son “hechos empíricos” sino que siguen siendo conjeturas. Como planteó Forrester (2013):

Basar decisiones en juicios [es decir en conjeturas] no significa que las decisiones carezcan de fundamentos en los hechos o contacto con la realidad. Significa más bien que una elección se realiza de acuerdo a en qué parte del conocimiento disponible se confiará (p.118).

Es por este motivo que el *explanandum* no está garantizado *a priori* de manera empíricamente vacua, sino que está garantizado del mismo modo en que lo está en el modelo de explicación hempeliano. En este sentido, el *explanandum* de un modelo nomológico-deductivo contiene información que ya está presente en las premisas y esto no constituye circularidad en la medida en que conocer las premisas y las correlaciones no es conocer todas las proposiciones que se deducen de ellas. Para un sistema de inteligencia artificial la clausura deductiva garantiza que si conoce las premisas conoce todas sus conclusiones pero esto no se sigue de un agente cognitivo biológico. Sin embargo, está claro que sí ocurriría una inaceptable circularidad si durante el proceso de validación se utilizase la misma base empírica utilizada para la calibración de parámetros en el diseño del modelo.

Como se aseveró más arriba, basar la validación en salvar los fenómenos es renunciar a la búsqueda de la trama causal subyacente en el fenómeno. Sin embargo, como se ha visto en el capítulo anterior, es el método de validación hegemónico. En Turner (2012), se evaluó la adecuación de las corridas de *World3* (Meadows *et al.* 1972) con datos empíricos. El autor encontró una importante bondad de ajuste entre el mundo *target* y la corrida pesimista de *World3*, BAU (*Business as Usual*) por lo que concluyó que

La corroboración aquí de la corrida estándar de LTG [la corrida BAU de *Limits to Growth*] implica que la atención científica y pública otorgada al cambio climático, si bien es importante, está fuera de proporción con, e incluso perjudicialmente distractoria del problema de las restricciones de recursos, particularmente del

petróleo. De hecho, si el colapso global ocurre como en este escenario de LTG, entonces los impactos de la polución serán naturalmente resueltos, aunque no de una manera ideal.

Otra implicancia es la inminencia del colapso posible. Esto contrasta con el comentario general de LTG que describe al colapso ocurriendo a mediados de siglo; y los autores de LTG recalcaron que no debería interpretarse la escala temporal con demasiada precisión. Sin embargo, el alineamiento de las tendencias de los datos con la dinámica del modelo indica que las primeras etapas del colapso podrían ocurrir dentro de una década, o podrían estar en curso. Esto sugiere, desde una perspectiva racional basada en riesgos, que planificar para un sistema global colapsante podría ser incluso más importante que intentar evitar el colapso (Turner, p. 123).

Pero esas conclusiones fueron minimizadas por el trabajo de Castro (2012), publicado poco tiempo después en la misma revista. Castro aseveró que si bien el ajuste hallado por Turner puede proveer una señal de alerta, por otra parte *World3* no ha resultado exitoso a varios análisis de sensibilidad. Esto implica que pequeños cambios en algunos parámetros del modelo generan *outputs* radicalmente distintos, lo que hace que no se pueda confiar en las extrapolaciones del modelo (como la que muestra el colapso temido por Turner). En otras palabras, *World3* exhibe comportamiento caótico, y esto hace que no baste con salvar el fenómeno como parecía estar haciéndolo (hasta el 2012) para otorgar confianza en él. En el mismo camino que Turner consideraba, el equipo del modelo global SARUM propuso que

La operación de módulos individuales dentro de la estructura total puede ser chequeada por correspondencia con la realidad. Así, la creencia en la *performance* de un modelo completo depende esencialmente de la manera en que los módulos son ensamblados. En algunos casos, subconjuntos de módulos pueden ser chequeados por correspondencia con el comportamiento del mundo real (Meadows *et al.* 1982, p. 178).

Si en cambio se pone de relieve el intento de rescatar en el modelo las correlaciones y mecanismos relevados con las mejores herramientas teóricas disponibles acerca del mundo *target* y luego se ajustan las condiciones iniciales con valores tan cercanos como sea posible a los del mundo *target* para cotejar la coincidencia de *outputs*, entonces la pretendida validez del modelo está sustentada por haber realizado buenas conjeturas en su construcción. En este sentido, valen los comentarios de Mihajlo Mesarovic, co-creador del modelo global WIM:

La validación tiene dos aspectos estrictamente diferentes:

- (i) Un modelo puede y debe ser validado contra datos del pasado inicializando el modelo y dejándolo correr sobre períodos de tiempo pasado apropiados.
- (ii) Otro tipo de validación se refiere a la estructura y a lo apropiado de la estructura del modelo para la extrapolación hacia el futuro. Mediante una selección apropiada de parámetros (“calibración”) uno

puede hacer ajustar una cantidad de modelos diferentes a datos del pasado. Sin embargo, lo apropiado de utilizar cualquiera de estos modelos para evaluar el futuro no está necesariamente determinado por cuán bien los datos históricos son reproducidos. Es más importante que la estructura del modelo haya sido apropiadamente seleccionada, de manera que caminos futuros alternativos de desarrollo global puedan ser razonados a partir del modelo y lógicamente justificados. (Meadows *et al.*, 1982, pp. 140-141).

Sobre esto Forrester (2013) advirtió:

La importancia de justificar los detalles de un modelo descansan en un presupuesto de trabajo fundamental: el presupuesto de que si todos los componentes son adecuadamente descriptos y apropiadamente interrelacionados, el modelo no puede hacer otra cosa que comportarse como debería. Pero lo inverso no es verdad; una variedad sin límites de componentes y estructuras inválidas pueden existir para proveer el mismo comportamiento de sistema aparente, pero estas estructuras incorrectas no abrirían la puerta a mejores diseños de sistema (p. 117).

Y más adelante:

Los datos pueden servir para rechazar una hipótesis groseramente equivocada (...), pero escasamente podrá probar una correcta. (...)

Los métodos de análisis objetivos [por correspondencia de eventos] no ofrecen garantías de que las variables apropiadas han sido incluidas y apropiadamente interrelacionas [es decir, que se haya captado la estructura del *target*]. Sin embargo, tenemos un *test* negativo – un *test* que es necesario pero no suficiente. (...) Incluso la bondad de ajuste entre datos e hipótesis basada en una mala selección de variables pero con un ajuste de parámetros de compensación puede pasar un *test* estadístico fuera del contexto del sistema más exitosamente que una función (...) basada en una selección más correcta de variables causales pero con errores de parametrización que degradan el ajuste estadístico pero no al comportamiento dinámico del sistema. (p. 118).

Finalmente se concluye que, si bien se coincide con Weirich en la necesidad de algún tipo de morfismo de estructuras, se considerará necesario un refinamiento de la posición a fin de proveer una base para la validación de simulaciones menos problemática, especialmente incluyendo el componente pragmático. Sobre esto, Forrester planteó irónicamente que

Muchas personas protestarán por la manera en que (...) se hace depender la validación de modelos por métodos subjetivos. Sin embargo, los métodos “objetivos” descansan sobre el mismo fundamento. El *test* objetivo es útil si los presupuestos subyacentes para él son sólidos y si el criterio de juicio no es dócil para su aplicación directa sino que debe ser interpretado a través de un procedimiento cuantitativo intermedio. El peligro es que ese procedimiento tomará un aura de autenticidad por derecho propio. Se convierte en un ritual

pseudocientífico. Los presupuestos subyacentes basados en juicio o meramente en la fe deben ser olvidados. El *test* objetivo, el cual puede haber sido sólido para los objetivos y presupuestos originales, puede ahora moverse por sí mismo a nuevas áreas donde es inútil o de hecho confundente (p. 123).

6.3.3 *Identidad parcial de estructura como base para la validación de simulaciones*

Giere (1988; 1999) consideró que la representación requiere de una relación de similitud entre modelo y *target*, siendo en su concepción dos entidades similares si y sólo si comparten un subconjunto de sus propiedades. Se ha visto en la sección anterior que Weirich consideraba que esta relación no es suficiente para considerar que las explicaciones parciales puedan exportarse de modelo a *target*, y defendía entonces el isomorfismo de van Fraassen (1980). Pero en Suárez (1999; 2003) se atacó categóricamente a ambos criterios de representación de manera que no puede afirmarse que ni uno ni otro sean condición necesaria y suficiente para una representación válida. Suárez (2003) asimismo analizó y rechazó distintas versiones debilitadas del isomorfismo (homomorfismo, isomorfismo parcial, etc.) mostrando que tampoco alcanzan como criterios únicos para la representación científica.

Ahora bien, cabe preguntarse si el objetivo de un modelo es meramente la representación de su *target*. A fin de cuentas, los modelos, al menos en los casos de interés de este trabajo de tesis, tienen por función aportar conocimiento acerca del *target* de modo tal que permitan tomar decisiones a los usuarios políticos. Resulta interesante entonces pensar si el éxito de un modelo se da en virtud de dicha relación de representación. Suárez (2003) tomó de Goodman (1979) las propiedades lógicas de la representación: no-reflexividad (un modelo *A* no se representa a sí mismo), no-simetría (un modelo *A* representa a un sistema *B*, pero el sistema *B* no representa al modelo *A*) y no-transitividad (un modelo *A* representa a un sistema *B*, y a su vez un modelo *C* representa al modelo *A*, luego el modelo *C* no representa al sistema *B*). Intuitivamente puede imaginarse que si se ha de aprender de un sistema observando algo que no es ese sistema, aquello que se observa debería ser parecido en ciertos aspectos relevantes a dicho sistema. Ese “parecerse” resulta vago, pero antes de precisarlo, continuando en el orden de lo intuitivo, puede afirmarse que una relación de parecido debe ser inevitablemente simétrica: si *A* se parece a *B*, entonces *B* se parece a *A*. Tampoco se cumpliría con la no-reflexividad (*A* se parece a sí mismo) ni con la no-transitividad (si *A* se parece a *B*, y *A* se parece a *C*, entonces *B* se parece a *C*). Así, la relación entre simulación y mundo *target* que se propone utilizar en este trabajo de tesis como plataforma para la validación no será de “representación” como la entiende Suárez.

Al concebir la simulación como un mundo posible “parecido” al mundo *target* se abre la discusión sobre cómo establecer dicho parecido. Ya se mencionó ya que el parecido puede estimarse a través de reproducir en el modelo las correlaciones relevadas del mundo *target*. Estas correlaciones registradas en el mundo *target* muestran cuáles son las variables relevantes que se vinculan con cada aspecto de interés para el investigador, y al ser llevadas al modelo juegan el rol de leyes de los mundos posibles obtenidos en la simulación. Weirich exige una relación de isomorfismo entre la estructura del mundo y el modelo, la cual es una relación demasiado fuerte pues necesita conocer en gran medida la estructura del *target*, y no queda claro cómo esta relación permite obtener conocimiento nuevo. Tampoco sirve plantear un parecido sobre la base de reproducir los eventos del *target* en el mundo del modelo: es de mayor interés reproducir las correlaciones para asegurar una identidad parcial de estructura entre el modelo y el mundo *target* de modo que esa identidad parcial sea el justificativo para la exportación de resultados. En esta sección se aborda el problema de cuáles aspectos del mundo *target* son relevantes para la comparación de estructuras y así poder decidir cuál de entre dos modelos alternativos es más parecido al mundo *target* respecto a esa estructura.

Los elementos del mundo *target* tienen propiedades, algunas de las cuales son definitorias y se utilizan habitualmente para decidir si un elemento pertenece o no a cierta clase. Por ejemplo, un objeto cuenta como bien material negociable si en el mundo *target* se le asigna un valor intrínseco y además un valor de canje o precio. Si algo tiene valor (p. ej. afectivo) pero no puede asignársele un precio, entonces pertenece a otra categoría de objetos. Entonces el precio pasa a ser una propiedad definitoria de los objetos que pertenecen a la clase de objetos negociables.

Cada clase de elementos puede ser caracterizada por sus propiedades definitorias y además presenta otras propiedades. Los elementos de diferentes tipos se distinguen mediante las propiedades que unos tienen y los otros no. Por lo tanto, muchas de las propiedades de los tipos de objetos del mundo *target* deberán ser tenidas en cuenta al diseñar el modelo para que este pueda simular su presencia.

A su vez, los distintos elementos intervienen en relaciones con otros elementos, del mismo tipo o diferentes. Los particulares de cada tipo se relacionan de cierta manera con los particulares de los demás tipos, lo cual representa la correlación entre los valores de las variables que representan ambos tipos. Así, decimos que los particulares x de tipo X se relacionan mediante RXY con los particulares y de tipo Y , simbolizando esto como $RXY(x, y)$ ⁸.

⁸ RXY será el subconjunto del producto cartesiano del conjunto X con Y . Es decir, RXY es una relación que asigna elementos del conjunto Y a elementos del conjunto X .

Por otra parte, algunos de los particulares x tienen ciertas propiedades, y en virtud de ellas es que intervienen en algunas relaciones. Por ejemplo, debido a que ciertos x tienen la propiedad P es que se relacionan con los elementos de tipo Y . Así podemos distinguir el subconjunto de los x que se relacionan con los y atendiendo a la propiedad P . Entonces la propiedad P es una propiedad definitoria de los elementos del subconjunto: si un particular x no posee la propiedad P , entonces no se relacionará con los y .

Esta situación ha llevado a Ares *et al.* (2006) a postular la distinción de estas propiedades llamándolas "condicionantes" y al resto de las propiedades de los x , "no condicionantes". Esta distinción será de gran importancia, ya que las propiedades condicionantes son responsables de que un cierto particular intervenga o no en cierta relación. A lo largo de esta sección se utilizarán las herramientas de análisis de Ares *et al.* (2006) para decidir en qué condiciones puede respaldarse la exportación de resultados de un modelo al mundo *target*.

Supóngase un grupo de plantas de producción química. Cada planta vierte desechos al ambiente siendo algunos de ellos regulados por las normas medioambientales de modo que las plantas no pueden sobrepasar ciertos umbrales de emisión sin incurrir en una transgresión. Para cierto efluente de tipo X , si su valor excede el valor umbral x_1 pero no llega al umbral x_2 la empresa deberá entablar una relación con la oficina E del Estado que regula su actividad para iniciar un plan de mejoras. Si el valor excede el segundo umbral, entonces queda impedida de seguir en funcionamiento y debe cerrar hasta regularizar sus niveles de emisión. En este ejemplo puede verse que cada planta de producción puede tener una propiedad x que según el valor que tome la hace entrar en relación con diferentes entidades estatales y por ello, la propiedad x debe ser entendida como una propiedad condicionante. Se dirá que el conjunto P de las plantas de producción está en relación con el conjunto de oficinas del estado E dependiendo de qué valor tome la variable x para cada planta p perteneciente a P .

Puede entonces afirmarse que las propiedades condicionantes deben ser tenidas en cuenta de un modo particular en el diseño del modelo ya que operan como activadores o inhibidores de las correlaciones en el modelo. De no tratarlas de este modo, toda exportación de los modelos al mundo *target* no estaría debidamente validada, aun cuando pudieran obtenerse *outputs* suficientemente parecidos al mundo *target* a lo largo de un buen rango de condiciones iniciales.

Paralelamente, las propiedades que no son condicionantes no son relevantes para establecer el parecido estructural y por lo tanto, no tenerlas en cuenta no afecta la validez de la exportación de resultados.

Entonces, para aumentar el parecido entre el modelo y el mundo *target* no debe intentarse reproducir una mayor cantidad de propiedades de los objetos modelados sino solo aquellas que sean condicionantes.

Al mismo tiempo, la exclusión de propiedades condicionantes cuenta como una limitación del modelo e incluso podría constituir una deficiencia si se han incluido las relaciones sin las propiedades que resultan condicionantes para esa relación.

La nomenclatura “condicionantes”/“no condicionantes” es útil para decidir sobre cuáles propiedades deben modelarse según las relaciones elegidas como relevantes de acuerdo al objetivo del diseñador.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, ya se está en condiciones de formalizar la similitud estructural de un modelo con el mundo *target* según la posición defendida en este trabajo de tesis.

El modelo A cuya descripción y especificaciones en cierto sustrato es α , posee una estructura $S1 = \langle D1, R1 \rangle$ donde $D1$ es un dominio de objetos y $R1$ un conjunto de relaciones establecidas entre elementos de $D1$.

El mundo *target* es B , cuya descripción es β , posee una estructura $S2 = \langle D2, R2 \rangle$ donde $D2$ es un dominio de objetos y $R2$ un conjunto de relaciones establecidas entre elementos de $D2$.

Se dirá que A es modelo de B y los resultados pueden ser exportables de A a B , sí y sólo sí luego de eliminar las propiedades no condicionantes de α y de β es posible establecer una subestructura $S1' = \langle D1', R1' \rangle$ de $S1$ y, a su vez una subestructura $S2' = \langle D2', R2' \rangle$ de $S2$, de forma tal que entre $D1'$ y $D2'$ se establezca una función biyectiva que preserve las relaciones de ambos subconjuntos.

Puede verse una representación simplificada de la posición propia en la Fig. 6.2.

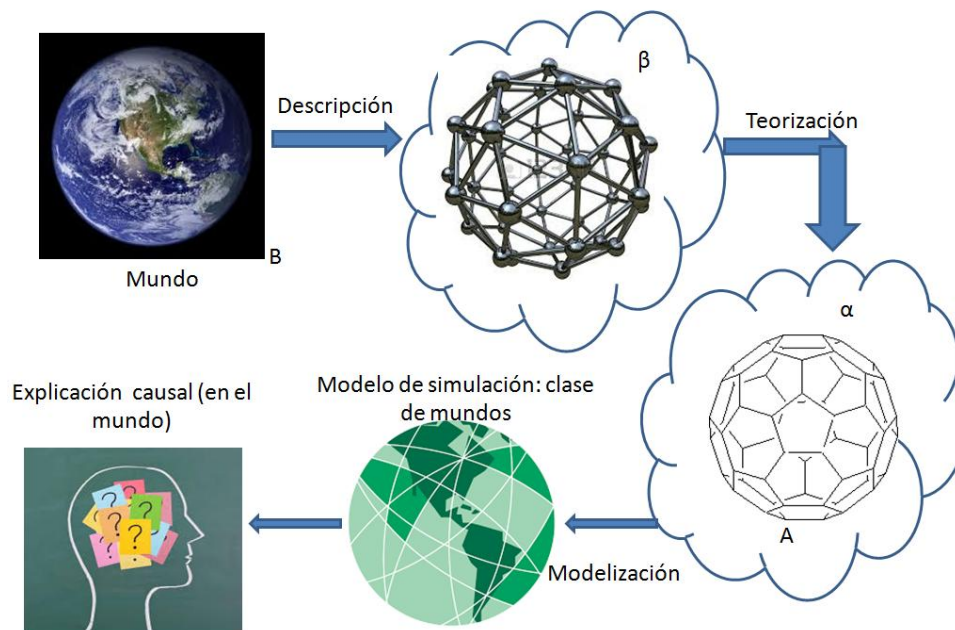


Fig. 6.4: Ilustración de la posición defendida sobre la modelización (Elaboración propia)

Para concluir, se abordará la cuestión de elegir entre distintos modelos que pretendan dar cuenta de los mismos aspectos del mundo *target* por medio de la identidad parcial de estructuras con dicho mundo. En el caso en el que los modelos $M1$ y $M2$ se disputen la modelización del mundo *target*, se analizará si la estructura de uno de los modelos se encuentra como subestructura en el otro y se elegirá aquel cuya estructura sea más extensa, siempre comparando la extensión de la estructura que es isomorfa con la del mundo *target*.

En el caso en que la estructura de un modelo no pueda ser incluida en la del otro, se podrá evaluar la extensión de cada uno de ellos en reproducir la estructura del mundo *target* y se tendrán en cuenta los objetivos de la modelización. Los modelos podrán ser ordenados mediante una similitud estructural creciente (sobre la base de una identidad parcial de estructuras) siempre que intenten dar cuenta de los mismos aspectos del mundo *target*.

Debe notarse que esta caracterización de la validación a partir de la identidad parcial de estructuras puede también ser utilizada para sostener que un modelo puede ser mejor que otro a pesar de no utilizar datos coincidentes con el mundo *target* como lo hace el segundo. Por ejemplo, puede haber un modelo $M1$ que da cuenta de cómo se agrupan los comercios del mismo ramo a través de una regla sencilla de minimizar costos de traslado en los proveedores, para una población pequeña que se toma como una representación a escala del fenómeno en el mundo *target*. Otro modelo $M2$ toma el número de la población real como uno de sus puntos de cotejo y mediante un

algoritmo de aproximación genera el agrupamiento de los comercios del mismo ramo para dar cuenta de cómo se han radicado en barrios en los últimos diez años. Mientras que en el primer modelo se rescata una relación que se registra en el mundo *target* pero no se atiende al número de pobladores, en el segundo se tiene en cuenta el valor de la población del mundo *target* pero no se atiende a la correlación sino a ajustar los datos. Así, el primer modelo exhibe mínimamente identidad de estructura de relaciones con el mundo *target*, mientras que el segundo no. A pesar de ello, el modelo *M2* da resultados muy cercanos a los del mundo *target* ya que ha sido calibrado con datos reales de la distribución de los comercios en la última década. El criterio presentado en este capítulo obliga a elegir el modelo *M1* ya que el tamaño de la población no parece operar en este caso como una propiedad condicionante y por lo tanto, no aporta a la similitud estructural de los modelos con el *target*.

Si en cambio se intentara modelar la cohesión social, el tamaño de la población podría muy bien comportarse como una propiedad condicionante pues una vez que una población pasa de cierto umbral, comienzan o aumentan notablemente cierto tipo de relaciones al interior de ellas. De esta manera se aprecia cuándo será de importancia tomar las propiedades para decidir sobre la similitud estructural entre el modelo y el mundo *target*.

Pero la identidad de relaciones no es la única manera en que un modelo puede obtener validación para que sus resultados sean exportables.

6.3.4 *Más allá de la identidad de relaciones*

Contrariamente a esta intención de rescatar la similitud de los hechos o eventos del mundo o de su estructura de relaciones, algunas idealizaciones pueden llevar a mundos con características explícitamente diferentes a las del mundo *target*, y no por eso dan como resultado modelos deficientes. Por ejemplo, concebir la costa de un río con una aproximación suave y no fractalizada, es un caso de variable explícitamente bien especificada y notoriamente diferente al mundo *target*. Sin embargo, no parece que el modelo pierda fuerza explicativa⁹ en dar cuenta de muchos de los fenómenos que tienen lugar en ese río. La fractalidad de la costa no es una propiedad condicionante. Que la costa sea fractalizada o no lo sea, no condiciona la posibilidad de encallar que tiene un barco que navega a lo largo de ella. Lo que condiciona la posibilidad de encallar es la profundidad y no la forma de la costa. Aun así la fractalización de la costa podría ser relevante si se tiene el objetivo de reproducir su forma y diferentes objetos como faros, señales, etc., que son valiosos para el

9 En el sentido de Rescher (1970)

navegante. Entonces, aun siendo relevante puede no ser condicionante. Incluso en estos casos la propiedad no cuenta para decidir que el modelo es estructuralmente más similar que otro que no rescate esa propiedad.

Weirich planteó que:

Una versión de la visión de que los modelos explican a través de analogías sostiene que los modelos explican porque se aproximan a los sistemas naturales. Esta versión de la visión sostiene que la similitud entre un modelo y un sistema natural es extensiva de modo que el modelo coincide cercanamente con el sistema natural en aspectos relevantes. Un modelo de la Bahía de San Francisco puede aproximarse a la Bahía en muchos aspectos. Si la aproximación es cercana uno espera que el fenómeno ocurra en el sistema natural si ocurre en el modelo. En este caso los desvíos debidos a las idealizaciones, dado que son pequeños, no afectan en gran medida al fenómeno objetivo (2013, p. 114).

Luego aclara que en este caso es necesario especificar cuánto se aproxima el modelo al mundo *target* y demostrar que las pequeñas diferencias entre el modelo y el mundo *target* no distorsionarán al fenómeno objetivo (por ejemplo, mediante un análisis de robustez). La posición que se defiende en este trabajo de tesis es que no son las “pequeñas diferencias” lo que es necesario identificar y justificar, sino las similitudes estructurales, y que las variables relevantes pueden identificarse con facilidad diferenciando las propiedades condicionantes y no condicionantes.

Más allá del criterio de similitud estructural para validar la exportación de resultados, se encuentra el criterio de similitud de eventos. En el modelo de similitud de eventos se prioriza la coincidencia de las mediciones y no la coincidencia de relaciones entre los objetos modelados. Los *outputs* del modelo pueden coincidir con las mediciones del mundo *target* por un ajuste de los datos, las tendencias y las distintas propiedades que se habían tomado como aspectos a ser modelados. Pero si el mecanismo que se modeló fue aproximado por el polinomio más simple posible que ajusta los datos dentro de un margen de precisión aceptable y a lo largo de cierto rango, entonces la exportación de resultados del modelo al mundo *target* puede enfrentarse con un alto grado de incertidumbre.

Existen ocasiones en las que dicha exportación de resultados puede estar garantizada en los casos de interpolación pero su validez para los casos de extrapolación puede ser limitada, como en el caso de los modelos de fenómenos caóticos explicado en secciones anteriores. Estos pueden arrojar resultados divergentes recién a partir de cierto valor que está fuera del rango de ajuste utilizado para la calibración. El peor escenario es aquel en que ni siquiera advertimos que una diferencia ínfima en las condiciones iniciales produce divergencias en zonas alejadas del rango. Esto atenta contra el criterio de validez del modelo por ajuste de los *outputs* con los datos

empíricos. Para justificar la exportación haría falta asegurar que no se trata de un fenómeno de comportamiento caótico sino que la diferencia entre el *output* y los resultados empíricos es una función monótona de la diferencia entre los *inputs* y las condiciones iniciales empíricas.

Hay otro modo en que los diseñadores pueden apartarse de la identidad parcial de estructura y es incluyendo en el modelo relaciones que aun no siendo las mismas que las del mundo *target*, operan del mismo modo en el modelo que en el mundo *target*. Es decir, haciendo corresponder relaciones del modelo a relaciones del mundo *target*. En estos casos la modelización no tiene identidad parcial de estructura en sentido estricto, pero presenta una correspondencia biunívoca entre relaciones del mundo *target* con relaciones del modelo. El diseñador deberá apelar a relaciones de segundo orden que hagan corresponder las relaciones que están en uno y otro dominio.¹⁰ Con esta modificación, la identidad parcial de estructura no solo se obtiene mediante la identidad de las relaciones sino también mediante una asignación de mapeo entre relaciones de ambos dominios. Esta asignación la realiza el diseñador por medio de relaciones y características de orden superior¹¹ que justifican tratar una relación en el modelo como si correspondiera a otra en el mundo *target*. Todo esto tiene lugar de manera explícita. Así, en el modelo se puede hacer corresponder la relación “*x* es mayor que *y*” a una relación en el mundo *target* en el que la opinión de cierto tipo de individuos es preferible a la opinión de otros individuos, como por ejemplo, cuando al momento de cotejar una noticia sobre meteoritos se consulta a los astrónomos y no a los economistas. Que la relación en el modelo no sea idéntica a la del mundo *target* no es todavía motivo para perder similitud estructural entre ambos.

Un ejemplo de este modo de modelar lo provee el modelo clásico de segregación racial de Schelling (1971). Aquí se modeló el comportamiento de la población de un vecindario estadounidense a través de una representación muy particular. El mismo se visualiza como un tablero de ajedrez, donde fichas negras simbolizan a individuos afroamericanos y fichas blancas a individuos caucásicos. Luego se inserta una regla: si un individuo está rodeado por más de un cierto porcentaje de individuos de un color diferente al propio, se desplazará hacia algún casillero vacío próximo. Como emergente de este modelo, al cabo de unos pocos turnos se observa en el tablero que las fichas se han segregado, apareciendo grandes clústeres de fichas blancas y negras. El resultado ha sido robusto para múltiples condiciones iniciales. En definitiva, el modelo de Schelling ha resultado exitoso para dar cuenta de la segregación racial en los barrios estadounidenses utilizando un modelado poco realista: los vecindarios no son tableros de ajedrez ni los individuos son fichas. Sin embargo, estas características morfológicas del mundo *target* no son condicionantes.

10 Véase el principio de sistematicidad en Gentner y Gentner (1983).

11 Por ejemplo, para que una relación del modelo pueda hacerse corresponder con otra del mundo *target* es de esperar que tenga las mismas características formales, como ser simétrica o asimétrica, etc.

Lo que Schelling ha capturado es un mecanismo del mundo target: los individuos sienten necesidad de agruparse con gente de su color (por motivos varios), y eso es parte de las relaciones entre los individuos de un grupo, entre los individuos de distinto grupo, y entre los individuos y el espacio ocupado, y esa necesidad de agruparse sí es una característica condicionante. Es por ello que el modelo de Schelling ha sido tan exitoso a pesar de su sencillez¹².

Otra forma de apartarse de una identidad de relaciones estricta aparece al hacer corresponder un indicador del modelo con un conjunto de variables del mundo target (es decir utilizar variables agregadas). Por ejemplo, en el modelo global *World2* (Forrester, 1973) se utiliza una variable llamada “capital físico” que representa al número de bienes de capital no monetarios del mundo: fábricas, herramientas, máquinas como tractores, automóviles y barcos, etc. Esta variable profundamente agregada mezcla objetos heterogéneos y por ende no puede dar cuenta de las características definitorias de cada uno de ellos. Pero sin embargo sí posee la capacidad de reproducir en el modelo sus características condicionantes: mantiene la relación entre estos bienes y las demás variables que el modelo considera relevantes. Por ejemplo: si aumenta el capital físico, aumenta la calidad de vida percibida, aumenta la capacidad de producir más capital físico, aumenta la capacidad de producir alimentos (por canalización de recursos tecnológicos al sector agrario), aumenta la polución producida, etc. El próximo capítulo de este trabajo de tesis analizará en profundidad la estructura del modelo *World2*.

La concepción según la cual la validación del modelo se realiza sobre la base del cotejo de la coincidencia entre los *outputs* del modelo y las medidas obtenidas en el mundo *target*, como puede verse en el capítulo anterior, ha sido denominada por los filósofos de las aplicaciones M&S “positivista”, y ciertamente no es la única posible.

La concepción contraria, denominada “constructivista”, negará la posibilidad de obtener datos fidedignos del mundo target, y trabajará con una validación por consenso, donde las partes interesadas a través de su juicio decidirán sobre la validez del modelo (y por ende sobre la posibilidad de exportar las explicaciones del mundo posible simulado al target), no descansando necesariamente en los datos mensurables, a los cuales se les resta importancia, debido a que sus defensores evitan asumir un compromiso ontológico de corte realista.

Si se abogase por esta otra concepción, es evidente que la similitud entre los mundos posibles simulados y el mundo target (ya sea de eventos o estructural) deja de ser de importancia a la hora de decidir la validez de las explicaciones causales obtenidas.

12 Ver Pyka y Deischel (2013)

Fuera de esta corriente constructivista que utiliza la herramienta pragmática del consenso para la validación, se hace necesario que el criterio de validez por ajuste o coincidencia de eventos sea reemplazado por otro criterio en términos de estructuras.

6.4 Conclusiones

Las ideas de Weirich están orientadas en la dirección adecuada, aunque se asevera que debe profundizarse su análisis para acercarse a la validación por identidad parcial de estructuras con un componente pragmático.

La perspectiva denominada por los filósofos de las aplicaciones M&S “positivista” da cuenta de un tipo de validación por cotejo y coincidencia que pone mayor énfasis en los eventos que en la estructura de relaciones, lo cual permite toda una amplia estrategia de salvar los fenómenos mediante mecanismos reconocidamente no existentes en el mundo *target* pero que introducidos en el mundo posible del modelo arrojan los mismos *outputs*, situando al investigador en un dilema sobre la similitud superficial versus la diferencia estructural.

La identidad parcial de estructura debería contar como un factor de mayor importancia al momento de decidir entre dos modelos que disputan su grado de validez para que sus explicaciones puedan ser exportadas desde el modelo al mundo *target*, ya que cada modelo brindará un abanico de *outputs* en función de los diferentes juegos de condiciones iniciales y cada juego de condiciones iniciales cuenta como una situación posible que modela al mundo *target*. Por este motivo la similitud de eventos solo se obtendría en el caso en que las condiciones iniciales en el modelo coincidieran con las del mundo *target* dentro de cierto margen de precisión. Dicho en otros términos, la similitud entre eventos se da en una y solo una de las corridas computacionales del modelo. Pero si el modelo está diseñado para reproducir las correlaciones más relevantes entre las variables a ser modeladas del mundo *target* la similitud estructural debe tener mayor importancia al decidir entre cuáles modelos son mejores.

Se debe prestar especial atención a los criterios de validación que descansan sobre el ajuste de los *outputs* del modelo con los datos empíricos para el caso de los fenómenos que pueden mostrar comportamiento caótico ya que la exportación de resultados puede ser confiable solo en un rango mínimo de extrapolación y es posible que el investigador no cuente con una estimación de hasta dónde se extiende dicho rango.

La similitud estructural puede obtenerse incluyendo en el modelo las relaciones registradas en el mundo *target*, o bien diseñando el modelo con relaciones que se corresponden (mapean) con las del mundo *target* a través de consideraciones que apelan a relaciones de orden superior.

Es necesario dar cuenta de otro tipo de modelos que de forma explícita son diseñados con correlaciones o leyes y con idealizaciones que reconocidamente no corresponden al mundo *target* y sin embargo resultan eficaces en echar luz sobre el fenómeno. Esto pone en entredicho si el valor de la contribución del modelo siempre consiste en una exportación de explicaciones de un campo a otro sobre la base de una estructura común de relaciones entre sus elementos, abriendo el campo de la validación hacia una correspondencia de estructuras más versátil que no requiere la identidad de cada una de las relaciones que han sido mapeadas.

Capítulo 7: Reconstrucción estructuralista del modelo global *World2*

7.1 Introducción

En el presente capítulo se presentará una reconstrucción desde la concepción estructuralista de las teorías del modelo global *World2* de Jay Forrester. Poseer dicha reconstrucción permitirá abordar a través del herramental ofrecido por esta concepción metateórica una serie de problemáticas referidas al tópico de la confianza en las simulaciones, que, como se ha afirmado en los capítulos de corte histórico de este trabajo de tesis, resultaron fundamentales para la caída en desgracia de los modelos globales.

Primero se procederá a justificar el motivo que indujo a abordar la reconstrucción, y las problemáticas epistemológicas a cuya elucidación se espera contribuir con la misma. Una vez aclarados estos puntos, se procederá a la reconstrucción estructuralista propiamente dicha. Finalmente, se procederá a enfatizar los puntos de contribución que surgen del abordaje propuesto. Como se ha afirmado en el capítulo anterior, se espera que las reconstrucciones constituyan en sí mismas métodos de validación complementarios a los existentes, por lo que se analizarán las consecuencias (ventajas y desventajas) de dicha propuesta.

7.2 Consideraciones preliminares

7.2.1 Antecedentes

En el presente capítulo se procederá a reconstruir mediante el instrumental estructuralista al programa informático *World2* de Jay Forrester (1973), tratando al código de dicho *software* como la expresión formal de una teoría científica. Esto se realizará basándose para ello en los antecedentes propuestos por Klaus Troitzsch, quien sostuvo una tesis respecto a la similitud que poseen la heurística de reconstrucción de teorías mediante el instrumental del estructuralismo metateórico y la heurística de la formalización de teorías para traducirlas en un lenguaje de programación informático, a fin de poder simularlos mediante un computador. En términos de Scolnik (1979), lo que Troitzsch sostuvo es que el proceso de reconstrucción de teorías científicos es similar al paso de un “modelo teórico” a un “modelo formal”. Troitzsch ha expresado dicha tesis en varios trabajos (Troitzsch, 1996; Ihrig & Troitzsch, 2013; Troitzsch, 2013). Respecto al primer trabajo mencionado, hay que destacar que presentó un desarrollo (cuyo proyecto había sido realizado junto a Michael Mohrig desde el año 1989) de un lenguaje de programación y *framework* de simulación

denominado MIMOSE, cuya semántica se basa en la semántica estructuralista, y de hecho, posee una sintaxis que recuerda enormemente a las reconstrucciones realizadas con el instrumental de esta metateoría. (ver Mohrig (1996)).

Troizsch se ha dedicado a la simulación de modelos informáticos de las ciencias sociales, experimentando con distintos formatos. En Troizsch (1996) reconstruyó teorías de decisión mediante el instrumental estructuralista y luego las programa y simula en MIMOSE, y también realizó el camino inverso, mostrando cómo desde el código de MIMOSE es posible llegar a una reconstrucción estructuralista. En Troizsch (2013) tomó distintas versiones de lenguaje informático del programa clásico del *management* institucional “*Garbage-Can Model*” (Cohen *et al.*, 1972), estando éstas en distintos lenguajes de programación, y las reconstruyó bajo el instrumental estructuralista, mostrando que esta técnica no es privativa del uso del lenguaje MIMOSE como intermediario necesario. La tesis de Troizsch es que la similitud entre las formalizaciones estructuralistas y aquellas desarrolladas para poder realizar simulaciones es muy fértil para poder realizar comparaciones entre modelos, para poder encontrar los supuestos que los programadores tuvieron en cuenta en su código (y los que no), y también para ayudar a los mismos programadores a traducir todos los supuestos de una teoría al lenguaje de máquina. Algo equiparable en cierta manera a un proceso hermenéutico sobre el código informático.

Esto se vuelve muy pertinente para analizar entonces modelos globales, especialmente si se atienden las palabras de Scolnik:

En el modelo teórico, cualquier hipótesis se relaciona a los elementos del modelo, y su validación o refutación tiene significado dentro del propio modelo. La validación o refutación de esta hipótesis en términos de la realidad empírica sólo tiene significado si podemos previamente corroborar los presupuestos acerca de su homología con el modelo teórico.

Similarmente una hipótesis implementada en el modelo formal tiene un significado dentro de este modelo, y su incidencia en el modelo teórico depende de la validez de la homología asumida entre el modelo formal y el teórico.

Desafortunadamente, en los modelos globales conocidos los nexos estructurados entre los modelos teóricos y los formales no siempre están claros, y tampoco lo está la relación entre ellos y la realidad empírica. Muy a menudo es difícil identificar los límites del modelo teórico y encontrar las reglas de transformación que pueden permitir la hipótesis de homología con el modelo formal.

Por otro lado, la situación encontrada usualmente es que *ambas* hipótesis de homología son asumidas *a priori* y, todavía peor, tácitamente. Es de esta manera que, sujetas a ciertas condiciones, el comportamiento de las variables en el modelo formal puede ser visto como una representación fiel de los procesos históricos reales (Meadows *et al.* 1982, p. 143, énfasis del autor).

7.2.2 Sobre World2

Como se vio en el capítulo 2 de este trabajo de tesis, el modelo informático *World2* es uno de los primeros modelos informáticos dinámicos (Forrester es un pionero en esta disciplina), y uno de los más ambiciosos, pues intenta dar cuenta de la economía física del mundo entero (economía física refiere a que dentro del modelo sólo se tienen en cuenta a los recursos físicos sin importar sus precios monetarizados, los cuales son ignorados pues constantemente sufren fluctuaciones por motivos políticos y financieros). *World2* es el primer modelo global de la historia.

El modelo informático intenta aprehender, en definitiva, la economía física del mundo a través de la recreación de su complejidad, mostrando las interacciones teóricas entre las que considera las variables más trascendentes: población, capital de inversión (es decir infraestructura y tecnología), recursos naturales, contaminación, y producción de alimentos (expresada como fracción del capital de inversión dedicado a agricultura).

En el capítulo 2 de este trabajo se ha afirmado que *World2* representa un ejemplar de la matriz disciplinar “Teoría de Sistemas Dinámicos”, creada por el mismo Forrester a fin de aplicarla en distintos ámbitos del *management*. Así, el primer ejemplar exitoso es el de *Industrial Dynamics* (Forrester, 2013), representando la economía de una compañía industrial. El segundo, que representaba la economía de una ciudad, fue *Urban Dynamics* de 1968 (Forrester, 1999), y el tercero, fue *World Dynamics* (Forrester, 1973), publicación que incluyó al modelo informático *World2*. En definitiva, la Teoría de Sistemas Dinámicos (condensada en varias publicaciones, siendo la más paradigmática *Principles of Systems* (Forrester, 1968)) es una teoría científica de gran nivel de generalidad, que Forrester aplicó al *management*, pero que la comunidad científica ha aplicado a disciplinas tan diversas como la biología (Yin & Struick, 2010) y las ciencias de la educación (Groff, 2013), entre otras. De hecho, como ya se ha mencionado, se ha formado en la década del 1970 la System Dynamics Society para nuclear a los científicos que trabajan bajo esta matriz disciplinar.

World2 es entonces una rama dentro de una red teórica muy amplia que es la Teoría de Sistemas Dinámicos. En este capítulo, sin embargo, el foco será únicamente en *World2*, considerándolo como un conjunto de elementos teóricos de distintos niveles de especialización que conforma en sí mismo una red de menor tamaño. Esta aproximación pionera puede resultar un primer paso prometedor antes de abordar otras ramas de la Teoría de Sistemas Dinámicos o al elemento teórico básico de la misma. Así, lo que se va a reconstruir como “elemento teórico básico” de *World2* es en realidad un elemento especializado de una red más amplia. Se mostrarán también los ejemplares paradigmáticos de esta teoría menos general, representados por las corridas consideradas por el propio Forrester como las más trascendentes, razón por la cual las analizó

pormenorizadamente en Forrester (1973).

Forrester para este modelo computacional utilizó un lenguaje de programación antiguo y hoy en desuso denominado DYNAMO, cuya sintaxis no recuerda en casi nada a la del MIMOSE de Troizsch y Mohrig. De este tipo de trabajos se desprende que si se comprende bien aquello que tiene en mente el desarrollador del modelo, puede hacerse una reconstrucción estructuralista sin problema alguno, aunque el mismo Troizsch (1996) reconoció que si bien no es imposible trabajar con DYNAMO, resulta bastante complicado dadas sus características semánticas primitivas (propias de un lenguaje de programación diseñado a fines de la década de 1950).

El proceso de reconstrucción permite elucidar entonces aquellas partes del modelo computacional que no sean claras, en una especie de proceso hermenéutico, interpretativo. La sola visión del código en general no es suficiente, sobre todo en este tipo de programas informáticos que dan cuenta de sistemas complejos: aún las personas con mucha experiencia en programación pueden verse confundidas ante la multiplicidad de retroalimentaciones y no-linealidades del modelo. Sin embargo, una reconstrucción estructuralista deja al desnudo los presupuestos, y permite encarar procesos de comparación entre modelos independientemente del lenguaje de programación en el cual hayan sido realizados. Cabe aclarar que este proceso hermenéutico sería realmente pobre si utilizase como único insumo el código fuente del *software*: éste debe ser complementado con un análisis pormenorizado de la documentación de los diseñadores, dado que de otro modo resultaría demasiado complejo comprender aquello que los mismos tuvieron en mente a la hora de diseñar la teoría formalizada en el código. En el caso de la presente reconstrucción, la mayor parte de la información fue recabada de la publicación *World Dynamics* (Forrester, 1973), donde el autor explicó (aunque no con el grado de detalle ideal) su teoría acerca del funcionamiento de la economía física del mundo. Allí aseveró que

Un modelo computacional encarna a una teoría sobre la estructura del sistema. Afirma presupuestos acerca del sistema. El modelo es tan bueno como lo es la teoría que yace detrás. Un buen modelo computacional se distingue de uno pobre porque captura más de la esencia del sistema social que presume representar. Realizar un modelo computacional requiere que seamos explícitos sobre los presupuestos en los que nuestros modelos mentales se basan. Cuando los presupuestos son claramente establecidos, estimulan a discusiones más profundas y llevan a mejores selecciones de los vastos números de fragmentos contenidos en nuestros modelos mentales. Realizar modelos computacionales refuerza un rigor y una disciplina que está perdida en la discusión y la escritura (p. 15).

Pues bien, se espera que el presente trabajo contribuya a la elucidación de dichos presupuestos y estimule la discusión que esperaba el autor.

7.2.3 Los objetivos de la reconstrucción

Más allá del proceso hermenéutico que permite llevar a cabo el instrumental estructuralista al elucidar teorías que pudiesen no ser del todo comprensibles en profundidad, en este trabajo de tesis la reconstrucción pretende tres objetivos epistemológicos generales, que trascienden a las particularidades de *World2*, el cual queda reducido a un simple ejemplo. Después de todo, el presente trabajo de tesis no versa sobre dicho modelo en particular, sino sobre los aspectos históricos y epistemológicos de los modelos globales en general. Pero el énfasis en *World2* es lógico teniendo en cuenta su posición privilegiada en la historia como primer modelo global.

Los mencionados objetivos tienen en común que tratan distintos aspectos relacionados con una dimensión fundamental para comprender el pasado, presente y futuro de los modelos globales: la confianza epistémica.

El primer objetivo tiene que ver con la potencialidad de los enfoques epistemológicos semanticistas para validar teorías, sea cual fuere el formato de las mismas (en este caso puntual, el formato será de “código informático DYNAMO y su documentación adjunta”). El instrumental estructuralista parece especialmente adecuado para realizar lo que se conoce como “validación de modelos de caja blanca” (*white box validation*) (Tolk, 2013). Esta forma de validación trabaja sobre el código de un programa, para asegurarse su consistencia interna: representa una indagación sobre la estructura teórica del modelo. Tiene sentido para poder afirmar si un modelo informático es válido, poder seguir los supuestos teóricos que utiliza y asegurarse de que los mismos sean aceptables por el usuario del *software* o por la comunidad científica en general. Sin embargo, este tipo de validación es menos utilizado que su contraparte de “caja negra”, que se ocupa solamente de contrastar los *outputs* del modelo con lo medible en el mundo base, sin importarle el contenido del código, según la teoría de la correspondencia. Se ha ocupado todo el capítulo anterior para enfatizar la importancia que debería prestársele a los aspectos estructurales del modelo por sobre el mero análisis de *input/output* propio del correspondentismo *naive*.

El segundo objetivo se encuentra íntimamente asociado al primero, pues busca reflexionar sobre los límites de la validación correspondentista de caja negra para las simulaciones, haciendo hincapié en el *payoff* (pago) epistémico de dicho procedimiento.

El tercer objetivo será profundizar sobre las ventajas del procedimiento anticipado por Troitzsch (2013) en el uso de las reconstrucciones estructuralistas para comparar modelos de simulación, frente a los métodos clásicos utilizados en ciencias de la computación.

Dada la fertilidad potencial de estas ideas es que se procederá con la reconstrucción estructuralista de *World2*. El presente trabajo también podría resultar un primer paso hacia la reconstrucción de la Teoría de Sistemas Dinámicos (que queda fuera del alcance de este trabajo de tesis), explicitada por ejemplo en Forrester (1968), dado que, como se verá hacia el final del capítulo, se postulará que *World2* es una rama de la red teórica de dicha matriz disciplinar.

A fin de mantener claras las similitudes entre el código original y la reconstrucción, se utilizarán los nombres de las variables idénticos a los utilizados por Forrester. Sin embargo, a pesar de representar una divergencia respecto a la forma usual de nombrar términos en la metateoría estructuralista, se utilizarán letras griegas para los términos T-no teóricos en vez de hacerlo para las funciones como es habitual. Esta decisión es en aras de conseguir claridad en el trabajo y para facilitar la búsqueda de los modelos potenciales parciales, en desmedro de la estética del trabajo y de la facilidad de comprensión del mismo por quienes se hallan habituados a la nomenclatura clásica del área.

7.3 Reconstrucción estructuralista de *World2*

7.3.1 *Nociones básicas del estructuralismo metateórico*

Antes de proceder con la reconstrucción, resulta útil recordar en forma sintética las principales nociones a tener en cuenta para proceder con la misma. La bibliografía recomendable para abordar las reconstrucciones estructuralistas en idioma español es la de Balzer, Moulines & Sneed (2012), Diez y Moulines (1997) y Diez y Lorenzano (2002), aunque existen otras publicaciones pertinentes.

El primer tipo de estructura (conjuntista) que debe reconocerse en los procesos de reconstrucción formal es aquel que rescata al concepto intuitivo de teoría científica: el elemento teórico. Éste puede ser identificado, en una primera aproximación, con un par ordenado consistente en el núcleo teórico (denominado **K**) y en un conjunto de aplicaciones de la teoría, llamadas pretendidas, propuestas o intencionales, representadas con la letra **I**. En definitiva, formalmente el elemento teórico será: $\mathbf{T} = \langle \mathbf{K}, \mathbf{I} \rangle$.

El núcleo teórico **K** es pues la parte formal de la teoría: allí se expresan los conceptos de la misma a diferentes niveles y las restricciones (leyes) que se aplican, según la teoría, al dominio de aplicación, el ámbito de estudio. El conjunto de aplicaciones intencionales **I** especifica a los sistemas empíricos a los que la teoría pretende aplicarse, pero en términos T-no teóricos, es decir, en los términos que preexisten a la teoría en cuestión. Estos sistemas empíricos son los que según la teoría son regidos por sus leyes.

El núcleo K está constituido por los conjuntos \mathbf{Mp} , \mathbf{M} , \mathbf{Mpp} , \mathbf{C} y \mathbf{L} ($\mathbf{K} = \langle \mathbf{Mp}, \mathbf{M}, \mathbf{Mpp}, \mathbf{C}, \mathbf{L} \rangle$). Los \mathbf{Mp} (modelos potenciales) representan el aparato conceptual completo de la teoría, incluyendo tanto a los términos propios de la misma (T-teóricos) como a aquellos que la teoría utiliza pero cuya existencia es anterior a ella (T-no teóricos). Los \mathbf{Mp} son las estructuras que “potencialmente” cumplen las leyes. Esto significa que sólo tiene sentido preguntarse si estas estructuras las cumplen, y no otras. Los \mathbf{M} (modelos actuales o efectivos) son el subconjunto de \mathbf{Mp} que, efectivamente, cumplen las leyes de la teoría. Los \mathbf{Mpp} (modelos potenciales parciales) son estructuras que surgen de recortarles a los \mathbf{Mp} los términos T-teóricos, es decir, que los \mathbf{Mpp} sólo poseerán términos T-no teóricos, y así expresarán el aparato conceptual preteórico con el que se describen los fenómenos que explicará la teoría estudiada. \mathbf{C} es el conjunto de ligaduras y \mathbf{L} el conjunto de vínculos interteóricos, que expresan la relación entre la teoría analizada y otras. \mathbf{C} y \mathbf{L} , por simplicidad, no serán analizadas en la presente reconstrucción.

El núcleo teórico básico de *World2* será entonces:

D1: DefTE(W2): TE(W2) := $\langle K(W2), I(W2) \rangle$

$K(W2) = \langle Mp(W2), M(W2), Mpp(W2) \rangle$

7.3.2 Modelos potenciales de *World2*

El conjunto de los modelos potenciales $\mathbf{Mp}(W2)$ simboliza la clase total de entidades que satisfacen las condiciones estructurales (los axiomas impropios) que caracterizan al aparato conceptual de la teoría y son aquellas estructuras de las cuales tiene sentido preguntarse si son modelos actuales de la teoría, pero que todavía no se sabe si efectivamente lo son.

D2: $\mathbf{Mp}(W2)$: $x = \langle P, T, C, F, N, S, Q, \rho, \mu, \beta, \gamma, \delta, FPCI, CIGN, CIAFT, \varphi, NREM, BRMM, DRMM, NRMM, NRUN, CIM, \omega, POLAT, BRPM, DRPM, POLCM, POLN, \sigma, FPM, \theta, BRCM, DRCM, FCM, FC, BRFM, DRFM, CFIFR, \tau, QLC, QLF, QLP, QLM, CIQR \rangle$ es un $W2$ potencial ($x = \langle P, T, C, F, N, S, Q, \rho, \mu, \beta, \gamma, \delta, FPCI, CIGN, CIAFT, \varphi, NREM, BRMM, DRMM, NRMM, NRUN, CIM, \omega, POLAT, BRPM, DRPM, POLCM, POLN, \sigma, FPM, \theta, BRCM, DRCM, FCM, FC, BRFM, DRFM, CFIFR, \tau, QLC, QLF, QLP, QLM, CIQR \rangle \in \mathbf{Mp}(W2)$) syss:

- 1) P es un conjunto finito no vacío (de “población mundial”). P representa al conjunto de individuos (personas).

- 2) \mathcal{T} es un orden lineal discreto (“tiempo”). \mathcal{T} representa el tiempo, medido en años. Viene dado por el par $\langle \mathcal{T}, < \rangle$, que constituye un orden lineal sobre el conjunto \mathcal{T} de instantes, en donde $<$ representa la relación temporal “es posterior a” (siendo el par $\langle \mathcal{T}, < \rangle$ isomórfico con el par $\langle \mathbb{R}^+, < \rangle$, consistente en el conjunto de los números reales positivos \mathbb{R}^+ y en la relación-menor-que sobre los números reales). En el modelo, se utiliza como magnitud “años”, tomándose como tiempo inicial el año 1900 ($t_0=1900$). En casi todo el modelo se opera con el tiempo considerándolo como isomórfico al conjunto de los números naturales, excepto al considerar el tiempo de absorción de polución, donde debe operarse sobre los números reales.
- 3) \mathcal{C} es un conjunto finito no vacío (de “capital de inversión”). \mathcal{C} representa al conjunto de bienes tangibles que posee el mundo, susceptibles de ser utilizados para lograr objetivos. Por ejemplo, maquinarias industriales, tecnologías para la mejora de la producción agraria o absorción de contaminación, etc. Los recursos financieros de la economía monetaria (es decir, el dinero) no forman parte de este modelo.
- 4) \mathcal{F} es un conjunto finito no vacío (de “alimento”). \mathcal{F} representa al conjunto de aquellos materiales con valor alimenticio para las personas.
- 5) \mathcal{N} es un conjunto finito no vacío (de “recursos naturales”). \mathcal{N} representa al conjunto de recursos naturales no renovables extraíbles de la tierra para su utilización con algún fin productivo.
- 6) \mathcal{S} es un conjunto finito no vacío (de “polución”). \mathcal{S} representa al conjunto de agentes contaminantes activos que pueden incidir negativamente sobre la salud humana y/o sobre sus actividades productivas.
- 7) \mathcal{Q} es un conjunto finito no vacío (de “satisfacción”). \mathcal{Q} representa al conjunto de efectos benéficos de la actividad productiva humana sobre las personas.

8) $\rho: P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ (“cantidad de población”) [*personas*] es una función que indica cantidad de población (número de personas) en un momento dado. El modelo considera que en el tiempo inicial (año 1900) la población era $\rho(t_0) = 1.650.000.000$ *personas* y $\rho(t_{70}) = 3.600.000.000$ *personas* (año 1970).

9) $\mu: P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ (“cantidad de muertes por año”) [$\frac{\text{personas}}{\text{año}}$] es una función que indica cantidad de personas fallecidas anuales en un momento dado.
 $\mu(t_{70}) = 100.800.000 \frac{\text{personas}}{\text{año}}$.

Def 1: μ_N es una constante (“Tasa de mortalidad normal”) [$\frac{1}{\text{año}}$]. $\mu_N = 0,028 \frac{1}{\text{año}}$. Esta constante da cuenta de la tasa de mortalidad en 1970, donde ningún factor de los que el modelo considera que inciden sobre la mortalidad ejercía efecto alguno. Se ha calculado como $\mu_N \text{ def} = \frac{\mu(t_{70})}{\rho(t_{70})}$

10) $\beta: P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ (“nacimientos por año”) [$\frac{\text{personas}}{\text{año}}$] es una función que indica cantidad de nacimientos anuales en un momento dado. $\beta(t_{70}) = 144.000.000 \frac{\text{personas}}{\text{año}}$.

Def 2: β_N (“Tasa de natalidad normal”) [$\frac{1}{\text{año}}$] Es constante dentro de cada corrida de simulación. Forrester calcula este valor, para la corrida que representa al mundo tal cual es como $\beta_N = 0,04 \frac{1}{\text{año}}$: así da cuenta de la tasa de natalidad en 1970, donde ningún factor de los que el modelo considera que inciden sobre la mortalidad ejercía efecto alguno, es decir $\beta_N \text{ def} = \frac{\beta(t_{70})}{\rho(t_{70})}$. Sin embargo, para experimentar con el resultado posible de una política de control de natalidad, en otras corridas el valor propuesto ha sido modificado para ser un porcentaje determinado de este valor no-teórico de referencia.

11) $\gamma: C \times T \rightarrow \mathbb{R}^+$ (“cantidad de capital de inversión”) [*ucapinv*] es una función que indica cantidad de capital de inversión disponible en un momento dado.

Def 3: $\gamma_R(t_i) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\gamma(t_i)}{\rho(t_i)}$ (“Relación de capital de inversión”) $\left[\frac{ucapinv}{persona} \right]$ El modelo

considera que en el año 1900 la relación de capital de inversión era

$$\gamma_R(t_0) = \frac{\gamma(t_0)}{\rho(t_0)} = 0,25 \frac{ucapinv}{persona}, \text{ definiendo así, arbitrariamente, la “unidad de capital de inversión”.$$

El valor 0,25 fue definido pensando que en 1970 el valor era 1, y que en 1900 cada persona tenía disponible el 25% del capital que, debido a los avances de la tecnología y la producción, se dispone en 1970, es decir que

$$\gamma_R(t_{70}) = \frac{\gamma(t_{70})}{\rho(t_{70})} = 1 \frac{ucapinv}{persona}$$

- 12) $\delta: \gamma \times \mathcal{F} \rightarrow [0;...;1] \subset \mathbb{R}^+$ (“Fracción de capital de inversión destinado a la agricultura”) es una función que indica qué fracción del capital de inversión disponible se destina a la producción de alimentos. El modelo supone $\delta(t_0) = 0,2$ (es decir, supone que en el año 1900 el 20% del capital disponible era destinado a la producción de alimentos). Esto implicaría que en el año 1900 el capital destinado a agricultura será $\gamma(t_0) \cdot \delta(t_0) = \gamma_R(t_0) \cdot \rho(t_0) \cdot \delta(t_0) = 82.500.000 \text{ ucapinv}$. También supone $\delta(t_{70}) = 0,3$.

Def 4: $\gamma_{RA}(t_i) \stackrel{\text{def}}{=} \gamma_R(t_i) \cdot \frac{\delta(t_i)}{\delta(t_{70})}$ (“Relación de capital de inversión en la agricultura”)

$\left[\frac{ucapinv}{persona} \right]$ Se trata de una función que da cuenta del impacto del capital de inversión por

persona sobre la producción agrícola de alimentos.

- 13) FPCI: $\gamma_{RA} \rightarrow [0,5;...;2,2] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador del potencial de producción de alimentos por capital de inversión”). Se trata de una función que aporta factores de corrección entre 0,5 y 2,2 para dar cuenta del efecto positivo que se da en la producción de alimentos cuando se utiliza un capital de inversión mayor (por introducción de maquinaria agrícola, fertilizantes, pesticidas, tecnología de riego eficaz, etc.). Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos, pues el compilador DYNAMO posee una función llamada TABLEHL que realiza regresiones lineales entre puntos a fin de construir una función continua que permite realizar interpolaciones, y fija el valor más bajo y el valor más alto de FPCI para realizar extrapolaciones, y así logra poder dar valores de FPCI dentro de todo el rango de valores de

γ_{RA} posibles (que pueden ser mayores o iguales a 0). La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

a) Cuando el capital de inversión destinado a agricultura es el de 1970

($\gamma_{RA} = 1 \frac{ucapinv}{persona}$), la influencia sobre la producción de alimentos es nula

(FPCI = 1).

b) Si cae el capital de inversión destinado a agricultura a cero ($\gamma_{RA} = 0 \frac{ucapinv}{persona}$), aún es

posible producir alimentos, aunque ciertamente a una tasa menor a la de 1970: Forrester considera razonable pensar que la penalización por la falta de inversión es del 50% (FPCI=0,5).

c) Análogamente, si aumenta el capital de inversión destinado a la agricultura, la producción de alimentos aumentará aunque cada vez el efecto de la inversión será menor, e incluso llegará a un punto de saturación (que por más que se invierta dinero y maquinarias, la tierra no podrá aumentar su rendimiento). El punto de saturación está considerado en un capital destinado a agricultura de cuatro veces el de 1970

($\gamma_{RA} = 4 \frac{ucapinv}{persona}$) y un aumento del rendimiento del 90% (FPCI=1,9). Con

$\gamma_{RA} > 4 \frac{ucapinv}{persona}$ la función cambia su comportamiento, siendo pues, una función partida.

e) El capital de inversión destinado a la agricultura es parte de un ciclo de retroalimentación negativa de primer orden que influye sobre la producción de alimentos: en teoría de sistemas, cuando hay un solo agente (el γ_{RA}) que modera una variable (en este caso el FPCI) sin *delay* alguno, la respuesta tiene una forma particular (exponencial asintótica). Para hallar

los puntos, Forrester simplemente parte del valor inicial ($\gamma_{RA} = 0 \frac{ucapinv}{persona}$, FPCI =0,5) y

propone un aumento con tasa linealmente variable que termina dando una ecuación con la

forma: $FPCI_{\gamma_{RA}} = FPCI_{\gamma_{RA-1}} + (0,5 - 0,1 \frac{persona}{ucapinv} \cdot \gamma_{RA})$ cuando $\gamma_{RA} \leq 4 \frac{ucapinv}{persona}$. Esta

función, computada mediante una integral para un diferencial de γ_{RA} , da razonablemente cercana a los puntos de Forrester:

$FPCI_{\gamma_{RA}} = FPCI_{MAX\gamma_{RA}} - (FPCI_{MAX\gamma_{RA}} - FPCI_0) \cdot e^{-\gamma_{RA} * 0,5 \text{ (personas/ucapinv)}}$, forma típica de este tipo de señales. En números: $FPCI_{\gamma_{RA}} = 2 - (2 - 0,5) \cdot e^{-\gamma_{RA} * 0,5 \text{ (personas/ucapinv)}} =$

$FPCI_{\gamma_{RA}} = 2 - 1,5 \cdot e^{-\gamma_{RA} * 0,5 \text{ (personas/ucapinv)}}$

f) En el momento de la saturación, es decir, con $\gamma_{RA} > 4$ (y $FPCI > 1$) la función se hace lineal, con la forma $FPCI_{\gamma_{RA}} = 0,15 \cdot \gamma_{RA} + 1,3$

Def 5: γ_{DN} es una constante (“Fracción de Capital de Inversión Descartado Normal”).

$\gamma_{DN} = 0,025 \frac{1}{\text{año}}$. Esta constante da cuenta de la cantidad de años en la que la teoría de

proyectos considera generalmente que debe amortizarse el capital de inversión de una obra de infraestructura, que es, en promedio, según se estima en los proyectos industriales, de 40 años. Teniendo en cuenta pues, que la infraestructura se amortizará en 40 años, γ_{DN} se

calcula simplemente como $\frac{1}{40\text{años}} = 0,025 \frac{1}{\text{año}}$

14) CIGN: (“Capital de Inversión Generado Normal”). Es constante dentro de cada corrida simulada. Para Forrester, el valor de esta constante, para la corrida de simulación que da cuenta del mundo tal cual es, será $CIGN = 0,05 \frac{ucapinv}{\text{persona.año}}$, para que la cantidad de

capital, en las condiciones de 1970, se duplique cada 40 años (por lo que el valor absoluto de CIGN debe ser: $|CIGN| = 2 \cdot |\gamma_{DN}| = 0.05$. Sin embargo, a fin de experimentar con políticas de crecimiento económico mayor o menor, el valor de esta constante puede modificarse, y de hecho así ha sido en algunas de las corridas.

Def 6: $\gamma_D(t_i)_{\text{def}} = \gamma(t_i) \cdot \gamma_{DN}$ (“Descarte de Capital de Inversión”) $\left[\frac{ucapinv}{\text{año}} \right]$ Se trata de una

función que da cuenta de la cantidad de capital amortizado en cada año, simplemente como el producto de la cantidad de capital de inversión disponible por la tasa de descarte.

15) CIAFT es una constante (“Tiempo de ajuste de la fracción de capital de inversión dedicado a la agricultura”). CIAFT = 15 años. Da cuenta de la cantidad de tiempo que toma reorientar las inversiones de capital dada la inercia del sistema económico y la cantidad de tiempo que requiere producir dicho capital.

16) $\varphi: \mathcal{N} \times \mathcal{T} \rightarrow \mathcal{N}$ (“cantidad de recursos naturales no renovables”) $[urecnat]$ es una función que indica cantidad de recursos naturales no renovables en un momento dado. El modelo considera que en el año 1970 la cantidad de recursos no renovables era $\varphi(t_{70}) = 900.000.000.000 \text{ urecnat}$, definiendo arbitrariamente como unidad de recurso natural

aquella cantidad consumida por cada persona en el mundo en 1970. El número $\varphi(t_{70})$ surge de computar:

$$\rho(t_{70}) = 3.600.000.000 \text{ personas} \cdot 250 \text{ años} \cdot 1 \frac{\text{urecnat}}{\text{año.persona}}. \text{ El modelo supone que 250}$$

año es lo que tardarían en agotarse los recursos naturales no renovables al ritmo de uso de 1970 por dicha cantidad de personas.

Def 7: $\varphi_{FR}(t_i) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\varphi(t_i)}{\varphi(t_0)}$ (“fracción remanente de recursos naturales”). Cociente entre los

recursos naturales no renovables disponibles y los que había en 1900.

17) NREM: $\varphi_{FR} \rightarrow [0; \dots; 1] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador por extracción de recursos naturales”). Se trata de una función que aporta factores de corrección entre 0 y 1 para dar cuenta de la inversión adicional en capital que hay que realizar para explotar un reservorio de recurso natural a medida que este se agota (por ejemplo, el petróleo: a medida que un reservorio se agota, se requiere de más energía e inversión para poder seguir extrayendo el remanente de fluido). Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos, para trabajar con la función de DYNAMO TABLEHL. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

a) Cuando la cantidad de recursos naturales remanentes es igual a la de 1970 ($\varphi_{FR}=1$), no hay ningún tipo de penalización en la eficiencia de la extracción (NREM = 1). Análogamente, si no hay recursos naturales que extraer ($\varphi_{FR} = 0$) no importa cuánto capital se invierta, nada se extraerá (NREM = 0).

b) El comportamiento de la función es diferente en varias regiones, constituyendo una función partida. En $0,75 < \varphi_{FR} \leq 1$ se considera que, al haber una gran cantidad de recursos disponibles, la pérdida de eficiencia de extracción es poca, por lo que Forrester la consideró lineal y de poca pendiente: $\text{NREM}_{\varphi_{FR}} = 0,6 \cdot \varphi_{FR} + 0,4$. La región central de la función, es decir en el rango $0,25 < \varphi_{FR} \leq 0,75$, también es lineal, pero la pendiente es mayor, para dar cuenta de lo más costoso que es explotar un recurso depletado: $\text{NREM}_{\varphi_{FR}} = 1,4 \cdot \varphi_{FR} - 0,2$. Finalmente, en el tramo de la función que corresponde a la depletación máxima ($\varphi_{FR} \leq 0,25$), la función otra vez es lineal aunque la pendiente disminuye, pues quedan pocos recursos que explotar y ya el factor de penalización por este motivo es suficientemente importante (esto es discutible, creo que una curva exponencial daría mejor cuenta del comportamiento de la función en este tramo). Así, para este último trozo de curva, la función queda:

$$NREM_{\varphi FR} = 0,6 \cdot \varphi_{FR}$$

$$\text{Def 8: } ECIR(t_i)_{\text{def}} = \frac{\gamma_R(t_i) \cdot (1 - \delta(t_i)) \cdot NREM(t_i)}{1 - \delta(t_{70})} \quad (\text{"Relación de capital de inversión efectiva"})$$

$\left[\frac{ucapinv}{personas} \right]$ Da cuenta del capital de inversión destinado a la mejora del estándar de vida (es decir, que no es destinado meramente a la producción de comida o extracción de recursos naturales, sino a bienes de confort).

$$\text{Def 9: } MSL(t_i)_{\text{def}} = \frac{ECIR(t_i)}{ECIR(t_{70})} \quad (\text{"Estándar material de vida"}).$$

Da cuenta de cuánto capital de inversión se destina a bienes de confort, respecto al que se destinaba en 1970.

18) BRMM: $MSL \rightarrow [0,7; \dots; 1,2] \subset \mathbb{R}^+$ ("Multiplicador de la tasa de natalidad por estándar material de vida"). Se trata de una función que aporta factores de corrección entre el intervalo de 0,7 a 1,2 para dar cuenta de la influencia negativa de la disponibilidad de bienes de confort en la tasa de natalidad en una sociedad dada (en las sociedades avanzadas la tasa de natalidad es menor respecto a la de las sociedades subdesarrolladas). Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

- a) Cuando el estándar de vida material es el de 1970 ($MSL = 1$), la influencia sobre la tasa de natalidad es nula ($BRMM = 1$).
- b) Si cae el estándar de vida material sólo será afectada la porción del mundo que hoy en día posee un alto estándar, y es allí donde la caída influirá sobre la tasa de natalidad (el resto de los países ya carece de estándar de vida material). Por ello, es razonable pensar que para un $MSL = 0$, $BRMM = 1,2$.
- c) Análogamente, si aumenta el estándar de vida material, sólo será afectada aquella porción del mundo que hoy carece de él y por ende se considera que para $MSL \geq 5$, $BRMM = 0,7$.
- d) El estándar de vida material es parte de un ciclo de retroalimentación negativa de primer orden que influye sobre la natalidad: en teoría de sistemas, cuando hay un solo agente (el MSL) que modera una variable (en este caso el $BRMM$) sin *delay* alguno, la respuesta tiene una forma particular (exponencial asintótica). Para hallar los puntos, Forrester simplemente parte del valor inicial ($MSL = 0$, $BRMM = 1,2$) y propone una caída con tasa linealmente variable que termina dando una ecuación con la forma:

$BRMM_{MSL} = BRMM_{MSL-1} - \frac{0,2}{MSL}$. Esta función, computada mediante una integral para un

diferencial de MSL, da razonablemente cercana a los puntos de Forrester:

$BRMM_{MSL} = BRMM_{MAXMSL} - (BRMM_{MAXMSL} - BRMM_0) \cdot e^{-MSL \cdot 0,75}$, forma típica de este tipo

de señales. En números: $BRMM_{MSL} = 0,7 - (0,7 - 1,2) \cdot e^{-MSL \cdot 0,75} = 0,7 + 0,5 \cdot e^{-MSL \cdot 0,75}$

19) DRMM: $MSL \rightarrow [0,5;...;3] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la tasa de mortalidad por estándar de vida”). Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0,5 y 3 para dar cuenta de la influencia negativa de los bienes de confort (entre los que se incluyen los servicios de salud, los hogares bien equipados, etc.) en la tasa de mortalidad en una sociedad dada. El autor no da la forma de la ecuación sino la tabla de pares ordenados para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. Los puntos son arbitrarios y poseen la siguiente lógica:

a) Cuando el estándar de vida material es el de 1970 ($MSL=1$), la influencia sobre la tasa de mortalidad es nula ($DRMM = 1$).

b) Para $MSL = 0$ (ausencia de capital destinado a bienes de confort), se considera un $DRMM = 3$ (la ausencia de servicios de salud y hogares adecuados provoca que se triplique la tasa de mortalidad), y, para $MSL \geq 3$ (la cantidad de capital por persona destinado a bienes de confort triplica el promedio de 1970) se considera un $DRMM = 0,5$ (la tasa de mortalidad cae al 50% de su valor, debido a la mejora en servicios de salud y confort).

c) El estándar de vida material es parte de un ciclo de retroalimentación negativa de primer orden que influye sobre la mortalidad: en teoría de sistemas, cuando hay un solo agente (el MSL) que modera una variable (en este caso el DRMM) sin *delay* alguno, la respuesta tiene una forma particular (exponencial asintótica). La función integrada para un diferencial de MSL que ajusta razonablemente a los puntos de Forrester es:

$DRMM_{MSL} = DRMM_{MAXMSL} - (DRMM_{MAXMSL} - DRMM_0) \cdot e^{-MSL*1,4}$, forma típica de este tipo de sistemas. En números:

$DRMM_{MSL} = 0,5 - (0,5 - 3) \cdot e^{-MSL*1,4} = DRMM_{MSL} = 0,5 + 2,5 \cdot e^{-MSL*1,4}$

20) NRMM: $MSL \rightarrow [0;...;4] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la tasa de uso de recursos naturales por estándar de vida”). Se trata de una función que aporta factores de corrección entre 0 y 4 para dar cuenta de la influencia que posee la producción de bienes de confort en la necesidad de extracción de recursos naturales en una sociedad dada. Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. La serie de

puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

- a) Cuando el estándar de vida material es el de 1970 ($MSL = 1$), la influencia sobre la tasa de uso de los recursos naturales es nula ($NRMM = 1$).
- b) Si cae el estándar de vida material ($MSL = 0$), seguramente se trata de ausencia de recursos naturales, por lo que será lógico pensar que la tasa de explotación ha de ser nula ($NRMM = 0$).
- c) Análogamente, si aumenta el estándar de vida material, aumentará la tasa de consumo de recursos naturales a fin de sostener dicho estándar. Sin embargo, se alcanzará en algún momento la saturación, donde ya no importe el aumento del MSL : la tasa de consumo permanecerá constante: así, para $MSL \geq 10$, $NRMM = 4$.
- d) El estándar de vida material es parte de un ciclo de retroalimentación negativa de primer orden que influye sobre la cantidad de recursos naturales: en teoría de sistemas, cuando hay un solo agente (el MSL) que modera una variable (en este caso el $NRMM$) sin *delay* alguno, la respuesta tiene una forma particular (exponencial asintótica). La función integrada para un diferencial de MSL que ajusta razonablemente a los puntos de Forrester es:

$NRMM_{MSL} = NRMM_{MAXMSL} - (NRMM_{MAXMSL} - NRMM_0) \cdot e^{-MSL \cdot 0,3}$, forma típica de este tipo de sistemas. En números: $NRMM_{MSL} = 4 - (4 - 0) \cdot e^{-MSL \cdot 0,3} = 4 - 4 \cdot e^{-MSL \cdot 0,3}$

21)NRUN: (“Tasa de consumo de recurso natural por persona”).Es constante dentro de cada corrida simulada. Indica la tasa de uso por persona por año de recursos naturales. Para

Forrester, el valor de esta constante es $NRUN = 1 \cdot \frac{urecnat}{persona.año}$ para la corrida de simulación

que da cuenta del mundo tal cual es, aunque otros valores pueden ensayarse a fin de probar el comportamiento del mundo en caso de que se implementen políticas de consumo de recurso natural reducida. De hecho Forrester prueba el resultado posible de ésta política

cambiando a un valor de $NRUN = 0,25 \cdot \frac{urecnat}{persona.año}$.

Def 10: $NRUR(t_i) \stackrel{\text{def}}{=} \rho(t_i) \cdot NRMM(t_i) \cdot NRUN$ (“Tasa de uso de recursos naturales”).

$\left[\frac{urecnat}{persona.año} \right]$ Se trata de una función que calcula la tasa de explotación de los recursos

naturales no renovables en función de la población mundial y del ritmo de producción de bienes de confort.

22) CIM: $MSL \rightarrow [0,1;\dots;3] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador del capital de inversión por estándar de vida”). Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0,025 y 3 para dar cuenta de la influencia que posee el estándar material de vida en la acumulación de capital de inversión. Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

- a) Cuando el estándar de vida material es el de 1970 ($MSL=1$), la influencia sobre la tasa de acumulación de capital es nula ($CIM = 1$).
- b) Si cae el estándar de vida material ($MSL = 0$), todo el capital disponible debe destinarse a consumo inmediato, causando que la tasa de acumulación de capital sea muy pequeña ($CIM = 0$).
- c) Análogamente, si aumenta el estándar de vida material, aumentará la tasa de acumulación de capital, pues la sociedad puede darse ese lujo (como de hecho sucede para las franjas que hoy en día poseen capital). Sin embargo, se alcanzará en algún momento la saturación, donde ya no importe el aumento del MSL: la tasa de acumulación de capital permanecerá constante: así, para $MSL \geq 5$, $CIM = 3$.
- d) El estándar de vida material es parte de un ciclo de retroalimentación negativa de primer orden que influye sobre la cantidad de capital disponible: en teoría de sistemas, cuando hay un solo agente (el MSL) que modera una variable (en este caso el CIM) sin *delay* alguno, la respuesta tiene una forma particular (exponencial asintótica). La función integrada para un diferencial de MSL que ajusta razonablemente a los puntos de Forrester es:

$CIM_{MSL} = CIM_{MAXMSL} - (CIM_{MAXMSL} - CIM_0) \cdot e^{-MSL*0,45}$, forma típica de este tipo de sistemas. En números: $CIM_{MSL} = 3 - (3 - 0,1) \cdot e^{-MSL*0,3} = 3 - 2,9 \cdot e^{-MSL*0,3}$

Def 11: $CIG(t_i)_{\text{def}} = p(t_i) \cdot CIM(t_i) \cdot CIGN$ (“Generación de Capital de Inversión”).

$\left[\frac{ucapinv}{año} \right]$ Se trata de una función teórica que calcula la tasa de generación de capital de inversión en función de la población mundial y del estándar de vida material.

23) $\omega: S \times T \rightarrow N$ (“cantidad de polución”) [upol] es una función que indica cantidad de polución en un momento dado. El modelo considera que en el año 1900 la cantidad de polución era $\omega(t_0) = 200.000.000 \text{ upol}$, definiendo arbitrariamente como unidad de polución aquella cantidad producida por cada persona en el mundo en 1970. El número ω

(t_0) surge de computar $\rho(t_{70}) = 3.600.000.000 \text{ personas} \cdot 0,125 \frac{\text{upol}}{\text{persona}}$ valor que,

supone el modelo, daría cuenta de que en 1900 las personas generaban 0,125 veces la cantidad de polución que generan en 1970. De aquí también puede verse que $\omega(t_{70}) = 3.600.000.000 \text{ upol}$.

Def 12: $\omega_R(t_i) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\omega(t_i)}{\omega(t_{70})}$ (“Relación de polución”). Se trata de un coeficiente que da cuenta de la relación cantidad de polución existente en un instante y la que había en 1970.

24) POLAT: $\omega_R \rightarrow [0,6 ; \dots ; 20] \subset T$ (“Tiempo de absorción de polución”) [años]. Se trata de una función no-lineal que calcula valores acotados entre 0,6 y 20 (años) para dar cuenta de la influencia de la cantidad de polución sobre los mecanismos naturales de absorción de la polución: estos son susceptibles a saturarse y dejar de funcionar en caso de haber mucha acumulación de polución, computando la cantidad de años que tardaría en ser procesado el 63% de una cantidad de contaminación. Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

a) Cuando la contaminación es la de 1970 ($\omega_R = 1$), la influencia sobre el tiempo de absorción de polución es nula (POLAT = 1 año).

b) Si cae la polución al máximo ($\omega_R = 0$), los mecanismos de absorción de polución naturales funcionarán óptimamente, por lo que el tiempo de absorción descenderá un 40% respecto de los valores de 1970 (POLAT = 0,6 año)

c) Análogamente, si aumenta la contaminación a valores muy superiores a los de 1970, los sistemas naturales de absorción de polución colapsarán y por ende el tiempo de absorción aumentará hasta un máximo. Forrester toma para $\omega_R \geq 60$, POLAT = 20 años.

d) La polución es parte de un ciclo de retroalimentación positiva que influye sobre el tiempo de absorción de polución (más polución implica mayor tiempo de absorción lo que redundará en aún más polución...). La función que ajusta razonablemente a los puntos de Forrester, hallada por regresión exponencial para $\omega_R > 1$ es:

$\text{POLAT}_{\omega_R} = 2,5 \text{ años} \cdot e^{0,035 \cdot \omega_R}$, forma típica de este tipo de sistemas. En $\omega_R \leq 1$ la función es aproximadamente lineal, ajustando muy bien la siguiente función:

$\text{POLAT}_{\omega_R} = 0,4 \text{ años} \cdot \omega_R + 0,6 \text{ años}$

Def 13: $POLA(t_i) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\omega(t_i)}{POLAT(t_i)}$ (“Absorción de Polución”) $[\frac{upol}{año}]$ Se trata de una

función que da cuenta de la polución que ha sido procesada en un año por los servicios naturales (y por ende transformados en sustancias inertes e inocuas), calculada como el cociente entre la polución existente y el tiempo que le toma al 63% de la polución desaparecer.

25) BRPM: $\omega_R \rightarrow [0,1;...;1,02] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la tasa de natalidad por polución”). Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0,1 y 1,02 para dar cuenta de la influencia negativa de la polución en la tasa de natalidad en una sociedad dada. Se fija, luego, para $\omega_R = 0$ (ausencia de contaminación), un BRPM = 1,02 (prácticamente no incide la contaminación en la tasa de natalidad), y, para $\omega_R \geq 60$ (hay 60 veces la cantidad de polución que había en 1970 o más) un BRPM = 0,1 (la tasa de natalidad cae al 10% de su valor si no hubiese incidencia de la contaminación). Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

a) Cuando la polución es igual a la de 1970 ($\omega_R = 1$), la influencia sobre la tasa de natalidad es nula (BRPM = 1).

b) Si no hay contaminación ($\omega_R = 0$), la influencia de la misma sobre la tasa de natalidad será, por supuesto, nula (BRPM = 1,02).

c) Si la contaminación se elevase 60 veces (o más) por sobre el nivel de 1970 ($\omega_R \geq 60$) la influencia sobre la tasa de natalidad sería muy violenta, por influencia sobre la salud y creación de conflictos sociales. Se propone en este modelo que la caída sería en esos niveles de polución del 90% (BRPM = 0,1)

d) La forma que toma la función con los puntos que propone Forrester es la de una ecuación logística inversa (es decir una sigmoidea invertida), relacionada con procesos de retroalimentación negativa donde existen *delays* (retrasos en la respuesta ante la señal de entrada), dado que la contaminación produce descensos en la tasa de natalidad muy tenues cuando los niveles son bajos, aunque muy considerables cuando superan los niveles de referencia de 1970. Una función con esta forma que ajusta razonablemente bien con los

puntos de Forrester es: $BRPM_{\omega_R} = \frac{2}{1 + e^{\omega_R \cdot 0,05}}$

26) DRPM: $\omega_R \rightarrow [0,92;...;9,02] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la tasa de mortalidad por polución”).

Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0,92 y 9,02 para dar cuenta de la influencia negativa de la polución en la tasa de natalidad en una sociedad dada. Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLE de DYNAMO. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

- a) Cuando la contaminación es la de 1970 ($\omega_R = 1$), la influencia sobre la tasa de mortalidad es nula (DRPM = 1).
- b) Si cae la polución al máximo ($\omega_R = 0$), la tasa de mortalidad será algo menor que la de 1970, por los efectos positivos sobre la salud que ejerce un medioambiente sano (DRPM = 0,92).
- c) Si aumenta la contaminación a valores muy superiores a los de 1970, la salud de los individuos se verá gravemente afectada por enfermedades derivadas de ésta: pulmonares, intoxicaciones, cáncer y otros, por lo que la tasa de mortalidad aumentará. Forrester considera para $\omega_R = 60$, DRPM = 9,2 (tasa de mortalidad 9,2 veces superior a la de 1970).

La polución es parte de un ciclo de retroalimentación positiva que influye sobre la tasa de mortalidad (más polución implica mayor tasa de mortalidad...). La función que ajusta razonablemente a los puntos de Forrester, hallada por regresión exponencial es:

$DRPM_{\omega_R} = 0,92 \cdot e^{0,0375 \cdot \omega_R}$, forma típica de este tipo de sistemas.

27) POLCM: $\gamma_R \rightarrow [0,05;...;8] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la polución por capital de inversión por persona”). Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0,05 y 8 para dar cuenta de la influencia positiva que posee el capital de inversión físico (fábricas, plantas de energía, etc.) en la generación de polución. Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos, para trabajar con la función de DYNAMO TABLEHL. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

- a) Cuando el capital invertido es igual al de 1970 ($\gamma_R = 1 \frac{ucapinv}{persona}$), no hay ningún tipo de generación adicional de polución, quedando esta a niveles de ese año (POLCM = 1). Análogamente, si no hay capital físico invertido ($\gamma_R = 0 \frac{ucapinv}{persona}$), no hay fábricas, plantas de energía...) pues la contaminación será prácticamente nula (POLCM = 0,05).

- b) El comportamiento de la función es diferente en varias regiones, constituyendo una

función partida. En $0 \frac{ucapinv}{persona} \leq \gamma_R < 1 \frac{ucapinv}{persona}$ se considera que, al haber poco capital invertido, la pendiente de la función (es decir, la tasa de generación de polución debido al capital invertido) es relativamente bajo, por lo que se modela con una recta con poca pendiente: $POLCM_{\gamma_R} = 0,95 \frac{persona}{ucapinv} \cdot \gamma_R + 0,05$. La región central de la función, es decir en el rango $1 \frac{ucapinv}{persona} \leq \gamma_R < 4 \frac{ucapinv}{persona}$, también es aproximadamente lineal, pero la pendiente es mayor, para dar cuenta de la incidencia mayor de las fábricas y plantas energéticas en la producción de polución: $POLCM_{\gamma_R} = 2,15 \frac{persona}{ucapinv} \cdot \gamma_R - 1,2$. Finalmente, en el tramo de la función que corresponde a un capital de inversión de cuatro veces o más el existente en 1970 ($\gamma_R \geq 4 \frac{ucapinv}{persona}$), la pendiente de la función otra vez disminuye pues se considera que a altos niveles de capital de inversión parte de este se destinaría naturalmente a procesos de control de polución (Forrester aclara que si esta hipótesis no se tuviera en cuenta, la pendiente seguiría igual que en el tramo central). Así, para este último trozo de curva, la función ajusta bien con $POLCM_{\gamma_R} = 0,88 \frac{persona}{ucapinv} \cdot \gamma_R + 1,5$

28) POLN: (“Tasa de polución normal”). Es constante dentro de cada corrida simulada. Indica la tasa de generación por persona por año de polución. Para Forrester, el valor de esta constante es $POLN = 1 \frac{upol}{persona.año}$ para la corrida de simulación que da cuenta del mundo tal cual es, aunque otros valores pueden ensayarse a fin de probar el comportamiento del mundo en caso de que se implementen políticas de reducción de generación de polución. De hecho Forrester prueba el resultado posible de ésta política cambiando a un valor de $POLN = 0,1 \frac{upol}{persona.año}$.

Def 14: $POLG(t_i)_{\text{def}} = \rho(t_i) \cdot POLCM(t_i) \cdot POLN \left[\frac{upol}{persona.año} \right]$ (“Generación de polución”). Se trata de una función que calcula la tasa de generación de polución en función de la población mundial y de la cantidad de capital de inversión disponible per cápita.

29) $\sigma: F \times T \rightarrow N$ (“cantidad de alimento”) [u_{alim}] es una función que indica cantidad de alimento en un momento dado. La unidad de alimento se define como aquella cantidad de alimento disponible por persona por año en 1970.

30) FPM: $\omega_R \rightarrow [0,05;...;1,02] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la producción de alimentos por polución”). Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0,05 y 1,02 para dar cuenta de la influencia negativa de la polución en la producción de alimentos en una sociedad dada (por descenso de la productividad de la tierra, contaminación acuática que afecta la pesca, etc.). Se fija, luego, para $\omega_R = 0$ (ausencia de contaminación), un FPM = 1,02 (prácticamente no incide la contaminación en la producción de alimentos), y, para $\omega_R \geq 60$ (hay 60 veces la cantidad de polución que había en 1970 o más) un FPM = 0,05 (la producción de alimento cae al 5% de su valor posible si no hubiese incidencia de la contaminación).

Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

a) Cuando la polución es igual a la de 1970 ($\omega_R = 1$), la influencia sobre la producción de alimentos es nula (FPM = 1).

b) Si no hay contaminación ($\omega_R = 0$), la influencia de la misma sobre la producción de alimentos será, por supuesto, nula (FPM = 1,02).

c) Si la contaminación se elevase 60 veces (o más) por sobre el nivel de 1970 ($\omega_R \geq 60$) la influencia sobre la producción de alimentos sería terrible: cae el rendimiento de la tierra por envenenamiento, así como la pesca y la ganadería. Se propone en este modelo que la caída sería en esos niveles de polución del 95% (FPM = 0,05)

d) La forma que toma la función con los puntos que propone Forrester es la de una ecuación logística inversa (es decir una sigmoidea invertida), relacionada con procesos de retroalimentación negativa donde existen *delays* (retrasos en la respuesta ante la señal de entrada), debido a que el aumento de la polución en un principio genera efectos tenues y muy localizados, siendo los efectos de gran impacto recién ante el advenimiento de una cantidad de polución varias veces mayor a la de referencia de 1970. Una función con esta

forma que ajusta razonablemente bien con los puntos de Forrester es:
$$FPM_{\omega_R} = \frac{2}{1 + e^{\omega_R/17,5}}$$

31) θ es una constante (“Territorio”). $\theta = 135.000.000 \text{ km}^2$. Indica el territorio disponible para

habitar o realizar actividades agropecuarias en el mundo.

Def 15: ρ_{DN} es una constante. $\rho_{DN} \text{ def} = \frac{\rho(t_{70})}{\theta} = 26,5 \frac{\text{personas}}{\text{km}^2}$ (“Densidad de población normal”), da cuenta de la densidad poblacional que existía en 1970.

Def 16: $\rho_R(t_i) \text{ def} = \frac{\rho(t_i)}{\theta \cdot \rho_{DN}} = \frac{\rho(t_i)}{\rho(t_{70})}$ (“Relación de sobrepoblación”). Se trata de una función que da cuenta de la relación entre la población en un momento determinado y la población en 1970.

32) BRCM: $\rho_R \rightarrow [0,5; \dots; 1,05] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la tasa de natalidad por sobrepoblación”). Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0,5 y 1,05 para dar cuenta de la influencia negativa de la sobrepoblación en la tasa de natalidad de una sociedad dada. Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. Sin embargo, la función tomará distinta forma en caso de que se decida o no ignorar los efectos de la sobrepoblación en la natalidad o no. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

- a) Cuando la densidad poblacional es igual a la de 1970 ($\rho_R = 1$), la influencia sobre la tasa de natalidad es nula (BRCM = 1).
- b) Si no hay sobrepoblación ($\rho_R = 0$), la influencia de la misma sobre la natalidad será, por supuesto, nula (BRCM = 1,05).
- c) Si la sobrepoblación fuese 5 veces (o más) la de 1970 ($\rho_R \geq 5$) la influencia sobre la natalidad sería negativa considerablemente, debido a factores psicológicos como el miedo y el estrés (se está considerando un mundo superpoblado en su totalidad, y no como el de hoy, donde hay sobrepoblación en las grandes urbes pero sigue habiendo lugares de baja densidad donde refugiarse). Se propone en este modelo que la caída de la natalidad sería para esos niveles de sobrepoblación del 50% (BRCM = 0,5)
- d) La forma que toma la función con los puntos que propone Forrester es la de una ecuación logística inversa (es decir una sigmoidea invertida), relacionada con procesos de retroalimentación negativa donde existen *delays* (retrasos en la respuesta ante la señal de entrada), debido a que el aumento de la densidad poblacional en un principio genera efectos tenues y muy localizados en la natalidad, siendo los efectos de gran impacto recién ante el

advenimiento de una sobrepoblación varias veces mayor a la de referencia de 1970. Una función con esta forma que ajusta razonablemente bien con los puntos de Forrester es:

$$\text{BRCM}_{\rho_R} = \frac{2,1}{1 + e^{\rho_R/5}}$$

e) A fin de probar qué efectos tendría sobre el mundo el ignorar los efectos de la sobrepoblación en la natalidad, la función puede convertirse en una constante, donde si $\rho_R \geq 1$, $\text{BRCM}_{\rho_R} = 1$.

33) DRCM: $\rho_R \rightarrow [0,9; \dots; 3] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la tasa de mortalidad por sobrepoblación”).

Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 1 y 3 para dar cuenta de la influencia positiva de la sobrepoblación en la tasa de mortalidad de una sociedad dada, por influencia de factores psicológicos, tensiones sociales y otros. Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLE de DYNAMO. Sin embargo, la función tomará distinta forma en caso de que se decida o no ignorar los efectos de la sobrepoblación en la mortalidad o no. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

a) Cuando la densidad poblacional es la de 1970 ($\rho_R = 1$), la influencia sobre la tasa de mortalidad es nula ($\text{DRCM} = 1$).

b) Si no hay sobrepoblación ($\rho_R = 0$), la tasa de mortalidad será algo menor que la de 1970, por los efectos positivos sobre la salud que ejerce un ambiente con espacios grandes, sin los problemas psicológicos aparejados por las sociedades superpobladas ($\text{DRCM} = 0,9$).

c) Si aumenta la sobrepoblación a valores muy superiores a los de 1970 ($\rho_R \geq 5$) la salud de los individuos se verá gravemente afectada por los mencionados procesos psicológicos, estrés, inseguridad, crimen, etc. derivadas de ésta. Forrester considera a estos valores de sobrepoblación, $\text{DRCM} = 3$ (tasa de mortalidad 3 veces superior a la de 1970).

d) La sobrepoblación es parte de un ciclo de retroalimentación positiva que influye sobre la tasa de mortalidad (más sobrepoblación implica mayor tasa de mortalidad...). La función que ajusta razonablemente a los puntos de Forrester, hallada por regresión exponencial es: $\text{DRCM}_{\rho_R} = 0,9 \cdot e^{0,2 \cdot \rho_R}$, forma típica de este tipo de señales.

e) A fin de probar qué efectos tendría sobre el mundo el ignorar los efectos de la sobrepoblación en la mortalidad, la función puede convertirse en una constante, donde si $\rho_R \geq 1$, $\text{DRCM}_{\rho_R} = 1$.

34) FCM: $\rho_R \rightarrow [0,2; \dots; 2,4] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la producción de alimentos por

sobrepoblación”). Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0,2 y 2,4 para dar cuenta de la influencia negativa de la sobrepoblación en la producción de alimentos de una sociedad dada, debido a la necesidad de utilizar tierras fértiles para construir espacios habitacionales, desplazando la agricultura a espacios marginales de menor rendimiento. Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

- a) Cuando la densidad poblacional es igual a la de 1970 ($\rho_R = 1$), la influencia sobre la producción de alimentos es nula ($FCM = 1$).
- b) Si no hubiese sobrepoblación ($\rho_R = 0$), pueden ocuparse las tierras más aptas, de alto rendimiento, para utilizar en agricultura y ganadería. Ello, según este modelo, permitiría multiplicar 2,4 veces la producción de alimentos ($FCM = 2,4$).
- c) Si aumenta la sobrepoblación a valores muy superiores a los de 1970 ($\rho_R \geq 5$), las tierras de mejor rendimiento agrario serán ocupadas con propósitos habitacionales, desplazando la actividad agrícola hacia espacios marginales, de menor productividad. El modelo prevé que para esos niveles de sobrepoblación, la producción de alimentos descenderá en un 80% ($FCM = 0,2$).

La sobrepoblación es parte de un ciclo de retroalimentación negativa de primer orden que influye sobre la producción de alimentos: en teoría de sistemas, cuando hay un solo agente (el ρ_R) que modera una variable (en este caso el FCM) sin *delay* alguno, la respuesta tiene una forma particular (exponencial asintótica). La función integrada para un diferencial de ρ_R que ajusta razonablemente a los puntos de Forrester es:

$FCM_{\rho_R} = FCM_{MAX \rho_R} - (FCM_{MAX \rho_R} - FCM_0) \cdot e^{-\rho_R}$, forma típica de este tipo de sistemas.

En números: $FCM_{\rho_R} = 0,3 - (0,3 - 2,4) \cdot e^{-\rho_R} = 0,3 + 2,1 \cdot e^{-\rho_R}$

- 35)FC: (“Coeficiente de producción de alimento”). Es constante dentro de cada corrida simulada. Indica el aumento de productividad que podría tener la producción de alimentos en caso de aplicar políticas masivas de mejora de la producción, respecto al valor de referencia de 1970, o, al revés, probar bajarlo, a fin de que para que el sistema compense esta falta, desvíe parte del capital hacia esta actividad y no lo dedique a producir bienes de capital, los cuales generan polución. Para Forrester, el valor de $FC=1$ para la corrida de simulación que da cuenta del mundo tal cual es, aunque otros valores pueden ensayarse a fin de probar lo que sucedería si, efectivamente, se aplicaran dichas políticas.

$$\text{Def 17: } FR(t_i)_{\text{def}} = \frac{FPCI(t_i).FCM(t_i).FPM(t_i).FC}{1 \frac{ualim}{persona.año}} \quad (\text{"Relación de producción de alimentos"})$$

alimentos”), función que da cuenta de la cantidad de alimento per cápita en relación al existente en 1970, calculado como el producto entre el potencial de producción de alimentos por el capital invertido y un coeficiente de productividad extra hipotético, corregido por las influencias de la sobrepoblación y la polución, expresadas como multiplicadores.

36) BRFM: $FR \rightarrow [0;...;2] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la tasa de natalidad por alimentos”). Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0 y 2 para dar cuenta de la influencia de la disponibilidad de alimentos en la tasa de natalidad de una sociedad dada. Se fija, luego, para $FR = 4$ (equivalente al cuádruple de la disponibilidad de alimentos del año 1970), un $BRFM = 2$ (la alta disponibilidad de alimentos provocaría una influencia positiva en la natalidad por buena nutrición), y, para $FR = 0$ (no hay disponibilidad de alimentos) un $BRFM = 0$ (la natalidad descende a 0%). Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

- a) Cuando la producción de alimentos es igual a la de 1970 ($FR = 1$), la influencia sobre la tasa de natalidad es nula ($BRFM = 1$).
- b) Si la producción de alimentos descendiera al máximo ($FR = 0$), la vida no podría sostenerse, y por ello la tasa de natalidad caería a cero ($BRFM = 2,4$).
- c) Si la producción de alimentos fuese el cuádruple o más de la de 1970 ($FR \geq 4$), Los problemas de salud derivados de desnutrición desaparecerían, y podría considerarse un aumento en la tasa de natalidad del 100% ($BRFM = 2$).
- d) La producción de alimentos es parte de un ciclo de retroalimentación negativa de primer orden que influye sobre la tasa de natalidad: en teoría de sistemas, cuando hay un solo agente (el FR) que modera una variable (en este caso el BRFM) sin *delay* alguno, la respuesta tiene una forma particular (exponencial asintótica). La función integrada para un diferencial de FR que ajusta razonablemente a los puntos de Forrester es: $BRFM_{FR} = BRFM_{MAXFR} - (BRFM_{MAXFR} - BRFM_0) \cdot e^{-FR}$, forma típica de este tipo de sistemas. En números: $BRFM_{FR} = 2 - (2 - 0) \cdot e^{-FR} = 2 - 2 \cdot e^{-FR}$

$$\text{Def 18: } BR(t_i)_{\text{def}} = \rho(t_i) \cdot \beta_N \cdot BRFM(t_i) \cdot BRMM(t_i) \cdot BRPM(t_i) \cdot BRCM(t_i) \quad (\text{"Tasa de natalidad"})$$

natalidad”) $\left[\frac{\text{personas}}{\text{año}} \right]$ Se trata de una función teórica que calcula la tasa de natalidad corrigiéndola por los distintos factores que inciden sobre ella en el modelo (la disponibilidad de alimentos, las condiciones materiales de vida, la polución y la sobrepoblación).

37) DRFM: $FR \rightarrow [0,5;...;30] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la tasa de mortalidad por alimentos”). Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0,5 y 30 para dar cuenta de la influencia de la disponibilidad de alimentos en la tasa de mortalidad de una sociedad dada. Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

- a) Cuando la producción de alimentos es igual a la de 1970 ($FR = 1$), la influencia sobre la tasa de mortalidad es nula ($DRFM = 1$).
- b) Si la producción de alimentos descendiera al máximo ($FR = 0$), la vida no podría sostenerse, y por ello la tasa de mortalidad se proyectaría al infinito. Como DYNAMO no puede procesar el término “infinito”, Forrester simplemente aplica un valor excesivamente grande a todo fin útil ($DRFM = 30$).
- c) Si la producción de alimentos fuese el doble o más de la de 1970 ($FR \geq 2$), los problemas de salud derivados de desnutrición desaparecerían, y podría considerarse un descenso en la tasa de mortalidad del 50% ($DRFM = 0,5$).
- d) La producción de alimentos es parte de un ciclo de retroalimentación negativa de primer orden que influye sobre la tasa de natalidad: en teoría de sistemas, cuando hay un solo agente (el FR) que modera una variable (en este caso el DRFM) sin *delay* alguno, la respuesta tiene una forma particular (exponencial asintótica). La función integrada para un diferencial de FR que ajusta razonablemente a los puntos de Forrester es: $DRFM_{FR} = DRFM_{MAXFR} - (DRFM_{MAXFR} - DRFM_0) \cdot e^{-FR \cdot 4}$, forma típica de este tipo de sistemas. En números: $DRFM_{FR} = 0,5 - (0,5 - 30) \cdot e^{-FR \cdot 4} = 0,5 + 29,5 \cdot e^{-FR \cdot 4}$

Def 19: $DR(t_i) \stackrel{\text{def}}{=} \rho(t_i) \cdot \mu_N \cdot DRFM(t_i) \cdot DRMM(t_i) \cdot DRPM(t_i) \cdot DRCM(t_i)$ (“Tasa de mortalidad”) $\left[\frac{\text{personas}}{\text{año}} \right]$ Se trata de una función teórica que calcula la tasa de mortalidad corrigiéndola por los distintos factores que inciden sobre ella en el modelo (la disponibilidad de alimentos, las condiciones materiales de vida, la polución y la sobrepoblación).

38) CFIFR: $FR \rightarrow [0,1;\dots;1] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la fracción de capital dedicada a la agricultura por alimentos”). Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0,1 y 1 para dar cuenta de la influencia de la disponibilidad de alimentos en la fracción de capital destinada a la agricultura: si la cantidad de alimentos disponible por persona comenzara a descender, más y más capital sería destinado a la producción agraria a fin de compensar la caída. Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

a) Cuando la producción de alimentos es igual a la de 1970 ($FR = 1$), la fracción de capital de inversión destinada a la agricultura es de un 30%, según estimaciones de Forrester para 1970 (CFIFR = 0,3).

b) Si la producción de alimentos descendiera al máximo ($FR = 0$), todo el capital de inversión se destinaría a la agricultura a fin de compensar la caída, pues es menester para la supervivencia y por ende de máxima prioridad (CFIFR = 1).

c) Si la producción de alimentos fuese el doble o más de la de 1970 ($FR \geq 2$), gran parte del capital de inversión utilizado para la agricultura se destinaría a otros usos, como bienes de confort, acumulación, etc., dejando un mínimo del 10% para producir alimentos (CFIFR = 0,1).

d) La producción de alimentos es parte de un ciclo de retroalimentación negativa de primer orden que influye sobre la cantidad de capital destinada a la agricultura: en teoría de sistemas, cuando hay un solo agente (el FR) que modera una variable (en este caso el CFIFR) sin *delay* alguno, la respuesta tiene una forma particular (exponencial asintótica). La función integrada para un diferencial de FR que ajusta razonablemente a los puntos de Forrester es:

$CFIFR_{FR} = CFIFR_{MAXFR} - (CFIFR_{MAXFR} - CFIFR_0) \cdot e^{-FR \cdot 1,75}$, forma típica de este tipo de señales. En números: $CFIFR_{FR} = 0,1 - (0,1 - 1) \cdot e^{-FR \cdot 1,75} = 0,1 + 0,9 \cdot e^{-FR \cdot 1,75}$

39) $\tau: Q \times \mathcal{I}' \rightarrow \mathcal{N}$ (“calidad de vida”) [*usatisf*] es una función que indica cantidad de satisfacción en un momento dado, aglutinando todo aquello que la actividad productiva humana genera que forma parte del bienestar social. El modelo considera que en el año 1970 la satisfacción era $\tau(t_{70}) = 1$ *usatisf*, fijando así, arbitrariamente, el concepto de unidad de satisfacción.

40) QLC: $\rho_R \rightarrow [0,2;\dots;2] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la calidad de vida por sobrepoblación”). Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0,2 y 2 para dar cuenta

de la influencia negativa de la sobrepoblación en la calidad de vida de una sociedad dada, debido a la insatisfacción generalizada que provoca vivir en asentamientos superpoblados, por tensiones sociales, inseguridad, atascamiento de tránsito y otros factores por el estilo. Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

- a) Cuando densidad poblacional es igual a la de 1970 ($\rho_R = 1$), la influencia sobre la calidad de vida es nula ($QLC = 1$).
- b) Si la sobrepoblación descendiera al máximo ($\rho_R = 0$), los efectos adversos de la densidad poblacional extrema desaparecerían, y la gran cantidad de espacio disponible duplicaría la calidad de vida percibida ($QLC = 2$).
- c) Si la sobrepoblación fuese el doble o más de la de 1970 ($\rho_R \geq 5$), la satisfacción percibida caería un 80% ($QLC = 0,2$), por problemas ya mencionados.
- d) La sobrepoblación es parte de un ciclo de retroalimentación negativa de primer orden que influye sobre la calidad de vida: en teoría de sistemas, cuando hay un solo agente (el ρ_R) que modera una variable (en este caso el QLC) sin *delay* alguno, la respuesta tiene una forma particular (exponencial asintótica). La función integrada para un diferencial de ρ_R que ajusta razonablemente a los puntos de Forrester es: $QLC_{\rho_R} = QLC_{MAX\rho_R} - (QLC_{MAX\rho_R} - QLC_0) \cdot e^{-\rho_R \cdot 0,8}$, forma típica de este tipo de sistemas. En números: $QLC_{\rho_R} = 0,2 - (0,2 - 1) \cdot e^{-\rho_R \cdot 0,8}$

41) QLF: $FR \rightarrow [0;...;2,7] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la calidad de vida por alimentos”). Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0 y 3 para dar cuenta de la influencia de la disponibilidad de alimentos en la cantidad de satisfacción general en una sociedad dada. Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

- a) Cuando la producción de alimentos es igual a la de 1970 ($FR = 1$), la influencia sobre la calidad de vida es nula ($DRFM = 1$).
- b) Si la producción de alimentos descendiera al máximo ($FR = 0$), la vida no podría sostenerse, y la calidad de vida, por ende caería también a cero ($QLF = 0$).
- c) Si la producción de alimentos fuese el cuádruple o más de la de 1970 ($FR \geq 4$), los problemas de salud derivados de desnutrición desaparecerían, y esto causaría un gran aumento de la calidad de vida ($QLF = 2,7$). Pasado ese punto, la función satura, pues más alimento no mejorará la calidad de vida una vez alcanzada una nutrición óptima.

La producción de alimentos es parte de un ciclo de retroalimentación negativa de primer orden que influye sobre la calidad de vida: en teoría de sistemas, cuando hay un solo agente (el FR) que modera una variable (en este caso el QLF) sin *delay* alguno, la respuesta tiene una forma particular (exponencial asintótica). La función integrada para un diferencial de FR que ajusta razonablemente a los puntos de Forrester es:

$QLF_{FR} = QLF_{MAXFR} - (QLF_{MAXFR} - QLF_0) \cdot e^{-FR \cdot 0,5}$, forma típica de este tipo de sistemas.
En números: $QLF_{FR} = 2,7 - (2,7 - 0) \cdot e^{-FR \cdot 0,5} = 2,7 - 2,7 \cdot e^{-FR \cdot 0,5}$

42) QLP: $\omega_R \rightarrow [0,02;...;1,04] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la calidad de vida por polución”). Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0,02 y 1,04 para dar cuenta de la influencia negativa de la polución en la cantidad de satisfacción general en una sociedad dada. Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

- a) Cuando la polución es igual a la de 1970 ($\omega_R = 1$), la influencia sobre la calidad de vida es nula (QLP = 1).
- b) Si no hay polución ($\omega_R = 0$), la influencia de la misma sobre la calidad de vida será nula (QLP = 1,04). En este punto discrepo con Forrester, creo que debería bonificarse la calidad de vida de una sociedad con un medioambiente sano.
- c) Si la polución fuese 60 veces (o más) la de 1970 ($\omega_R \geq 60$) la influencia sobre la calidad de vida percibida sería profundamente negativa, cayendo casi a cero, debido a factores psicológicos y los efectos nocivos sobre la salud que provocaría la contaminación (QLP = 0,02).
- d) La forma que toma la función con los puntos que propone Forrester es la de una ecuación logística inversa (es decir una sigmoidea invertida), relacionada con procesos de retroalimentación negativa donde existen *delays* (retrasos en la respuesta ante la señal de entrada), debido a que el aumento de la polución en un principio genera efectos tenues en la calidad de vida percibida, siendo los efectos de gran impacto recién ante el advenimiento de una polución varias veces mayor a la de referencia de 1970. Una función con esta forma que ajusta razonablemente bien con los puntos de Forrester es: $QLP_{\omega_R} = \frac{2,08}{1 + e^{\omega_R \cdot 0,075}}$

43) QLM: $MSL \rightarrow [0,2;...;2,9] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador de la calidad de vida por estándar de vida”). Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0,2 y 2,9 para dar cuenta de la influencia que posee el estándar material de vida (es decir, la

producción de bienes de confort) en la calidad de vida. Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLEHL de DYNAMO. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

- a) Cuando la cantidad de bienes de confort es igual a la de 1970 ($MSL = 1$), la influencia sobre la calidad de vida es nula ($QLM = 1$).
- b) Si la cantidad de bienes de confort descendiera al máximo ($MSL = 0$), el impacto sobre la calidad de vida percibida sin ellos sería del 80% ($QLM = 0,2$).
- c) Si la cantidad de bienes de confort disponibles fuese el quíntuple o más de la de 1970 ($MSL \geq 5$), la calidad de vida percibida aumentaría en gran medida, pues implicaría una vida ciertamente más cómoda, aunque la función se satura, dado que luego de cierta cantidad de bienes, sumar más de ellos no provoca ninguna satisfacción adicional ($QLM = 2,9$).
- d) El capital de inversión destinado a bienes de confort es parte de un ciclo de retroalimentación negativa de primer orden que influye sobre la calidad de vida: en teoría de sistemas, cuando hay un solo agente (el MSL) que modera una variable (en este caso el QLM) sin *delay* alguno, la respuesta tiene una forma particular (exponencial asintótica). La función integrada para un diferencial de MSL que ajusta razonablemente a los puntos de Forrester es:

$QLM_{MSL} = QLM_{MAXMSL} - (QLM_{MAXMSL} - QLM_0) \cdot e^{-MSL \cdot 0,4}$, forma típica de este tipo de sistemas. En números: $QLM_{MSL} = 3 - (3 - 0,2) \cdot e^{-MSL \cdot 0,4}$

Def 20: $QL(t_i)_{def} = QLM(t_i) \cdot QLC(t_i) \cdot QLF(t_i) \cdot QLP(t_i) \cdot 1_{usatisf}$ (“Calidad de vida”) [*usatisf*]. Se trata de una función teórica que calcula la calidad de vida percibida en función del estándar de vida material (es decir la producción de bienes de confort), la disponibilidad de alimento, la polución y la sobrepoblación.

- 44) CIQR: $\frac{QLM}{QLF} \rightarrow [0,7;...;2] \subset \mathbb{R}^+$ (“Multiplicador del capital de inversión destinado a agricultura por calidad de vida”). Se trata de una función no-lineal que aporta factores de corrección entre 0,7 y 2 para dar cuenta del mayor capital que se destinará a la agricultura cuando la calidad de vida percibida por la existencia de bienes de confort sea mayor que la calidad de vida percibida por alimentación (y el menor capital destinado en caso contrario). Se fija, luego, para $\frac{QLM}{QLF} = 0$ (calidad de vida percibida por alimentación mucho mayor que calidad de vida percibida por bienes de confort), un $CIQR = 0,7$ (el capital destinado a la

agricultura cae a un 70% de su valor original), y, para $\frac{QLM}{QLF} = 2$ (calidad de vida percibida

por bienes de confort duplica a la calidad de vida percibida por alimentación) un CIQR = 2 (Se duplica el capital destinado a la agricultura). Forrester no otorga la ecuación sino una serie de puntos para trabajar con la función TABLE de DYNAMO. La serie de puntos es arbitraria, y fue creada con el siguiente razonamiento lógico:

a) Cuando la calidad de vida percibida por alimentación es igual a la calidad de vida percibida por bienes de confort ($\frac{QLM}{QLF} = 1$), no hay influencia de dichos factores sobre el

capital de inversión a invertir en agricultura.

b) Si la calidad de vida percibida por alimentación es mucho mayor que la calidad de vida percibida por bienes de confort ($\frac{QLM}{QLF} = 0$), se destinará menos capital a la agricultura (un

30%) y más a la producción de bienes de confort a fin de mantener un equilibrio entre los factores que aportan calidad de vida e insumen capital (CIQR = 0,7).

c) Si la calidad de vida percibida por bienes de confort duplica (o más) a la calidad de vida percibida por alimentación ($\frac{QLM}{QLF} \geq 2$) se desviará más capital a la agricultura (CIQR = 2)

d) La relación entre la calidad de vida percibida por bienes de confort y por alimentación es parte de un ciclo de retroalimentación positiva que influye sobre la fracción de capital destinado a la agricultura (más grande es la relación (debido a que hay más bienes de uso que alimentos influyendo en la calidad de vida) implica mayor desvío de capital a la producción agraria...). La función que ajusta razonablemente a los puntos de Forrester, hallada por regresión exponencial es:

$CIQR_{QLM/QLF} = 0,7 \cdot e^{0,5 \cdot QLM/QLF}$, forma típica de este tipo de señales.

7.3.3 Modelos efectivos o actuales de World2

Los modelos efectivos o actuales, elementos de M, son los sistemas que, además de satisfacer los axiomas improprios anteriores, satisfacen las leyes fundamentales de la teoría, siendo así la contraparte modelo-teórica de tales leyes.

D3: **M (W2)**: $x = \langle P, T, C, F, N, S, Q, \rho, \mu, \beta, \gamma, \delta, FPCI, CIGN, CIAFT, \varphi, NREM, BRMM, DRMM, NRMM, NRUN, CIM, \omega, POLAT, BRPM, DRPM, POLCM, POLN, \sigma, FPM, \theta,$

BRCM, DRCM, FCM, FC, BRFM, DRFM, CFIFR, τ , QLC, QLF, QLP, QLM, CIQR) es un \mathbf{M}_p (W2) entonces x es un W2 ($x \in \mathbf{M}(\mathbf{W2})$) syss:

- 1) Def 21: si $i > 0$ $NR(t_i)_{\text{def}} = NR(t_{i-1}) - NRUR(t_i) \cdot 1 \text{ año}$ y si $i=0$ $NR(t_i) = \varphi(t_i)$. (“Recursos naturales”) [*urecnat*] Se trata de una ley que calcula la cantidad de recursos naturales no renovables utilizando las tasas teóricas de explotación de los recursos. Esta ley simplemente rescata la idea de que los recursos naturales que sostienen a la economía son no renovables y finitos, y se van consumiendo a una tasa determinada. Lo novedoso para la teoría es que el cálculo de esta tasa incluye a la población del mundo, su consumo *per capita* (que es parametrizable por el usuario para probar distintas opciones) y un factor que es función del estándar de vida material (sugiriendo que un mayor estándar de vida requiere un mayor consumo de recursos naturales para producir bienes de confort).
- 2) Def 22: $CIAF(t_i)_{\text{def}} = CIAF(t_{i-1}) + (1 \text{ año}/CIAFT) \cdot (CFIFR(t_{i-1}) \cdot CIQR(t_{i-1}) - CIAF(t_{i-1}))$ si $i > 0$ y $CIAF(t_i) = \delta(t_i)$ si $i=0$. (“Fracción de capital destinado a la agricultura”). Se trata de una ley que calcula la cantidad de capital que se destina a la producción de alimentos (agricultura) en función de la disponibilidad de alimentos y de la calidad de vida percibida. Aquí Forrester propone que los bienes físicos (el capital) puede destinarse a tres lugares: la producción de bienes de confort, la producción de alimentos y la mera acumulación. Esta simplificación sugiere que a largo plazo, toda producción industrial es para producir satisfacción en las personas (o acumularse para dar satisfacción en el futuro), y el resto del capital será para la agricultura necesaria para la supervivencia (en esta teoría toda la alimentación se produce a través de la agricultura). Esto le permite pensar un cierto equilibrio en el destino que se le da al capital, donde se trata racionalmente de maximizar la cantidad de confort generado siempre y cuando no se ponga en riesgo la existencia de alimento.
- 3) Def 23: $P(t_i)_{\text{def}} = P(t_{i-1}) + BR(t_i) \cdot 1 \text{ año} - DR(t_i) \cdot 1 \text{ año}$ si $i > 0$ y $P(t_i) = \rho(t_i)$ si $i=0$. (“Población”) [*personas*]. Se trata de una ley que calcula la cantidad de población utilizando las tasas teóricas de natalidad y mortalidad. La idea de la ley es bien intuitiva: lo novedoso que aporta Forrester tiene que ver con la influencia de factores como la contaminación, la densidad poblacional y el bienestar en el cálculo de las proyecciones demográficas.
- 4) Def 24: si $i > 0$ $POL(t_i)_{\text{def}} = POL(t_{i-1}) + POLG(t_i) \cdot 1 \text{ año} - POLA(t_i) \cdot 1 \text{ año}$ y si $i=0$

$POL(t_i) = \omega(t_i)$. (“Polución”) [*upol*]. Se trata de una ley que calcula la cantidad de polución existente en función de la tasa de generación y la tasa de absorción de la polución por parte de los sistemas naturales. Como en el caso de la ley de población, se trata de un simple balance de masa: la contaminación que hay en un instante t corresponde a la que había en el instante anterior más la que se generó menos la que se absorbió. Lo novedoso de esta teoría es el anclaje matemático de la generación de contaminación con la cantidad de población y la cantidad de capital generado, además del agregado de un *delay* variable en el mecanismo de absorción como producto de la saturación de los mecanismos naturales.

- 5) Def 25: si $i > 0$ $CI(t_i) \stackrel{\text{def}}{=} CI(t_{i-1}) + CIG(t_i) \cdot 1 \text{ año} - CID(t_i) \cdot 1 \text{ año}$ y si $i=0$ $CI(t_i) = \gamma(t_i)$. (“Capital de Inversión”) [*ucapinv*]. Se trata de una ley que calcula la cantidad de capital de inversión disponible en función de la tasa de generación y la tasa de descarte de capital. Nuevamente se trata de un sencillo balance de masa. La novedad pasa por considerar en los cálculos de proyecciones futuras factores como la cantidad de población, su estándar de vida material y la cantidad de capital que en el instante anterior fue destinada a la agricultura y no a la acumulación.

El propósito de *World2* es señalar que el mundo es un sistema cerrado. Los recursos naturales no-renovables en los que se sostiene la economía del mundo se van consumiendo y no se regeneran, y ello conlleva a que en algún momento la economía colapsará si no se llega a un proceso de equilibración. Asimismo, la cantidad de suelo del planeta también es finito, y por ende no puede alojar una cantidad infinita de personas ni mucho menos alimentarlas, lo cual conllevaría a largo plazo también al colapso. El proceso se ve a su vez acelerado por la polución generada por los procesos de creación de capital, ya que la misma incide negativamente sobre los suelos y su capacidad de producir alimento. La teoría simplemente combina todos estos factores para intentar predecir, dado un conjunto de condiciones iniciales, en qué momento (aproximado) sucedería el colapso (si no mediasen políticas tendientes a la equilibración, el colapso sucedería en algún momento de la primera mitad del siglo XXI, según Forrester).

Las leyes de este modelo son aquellas que en Teoría de Sistemas Dinámicos, como se vio en el capítulo 2 de este trabajo de tesis, se conocen como “funciones de nivel” o simplemente “niveles”. Estas funciones relacionan a todas a las entidades caracterizadas en los axiomas impropios de modo no trivial, e imponen las condiciones que deben cumplir para que el mundo objeto funcione como afirma *World2* que funciona, y además, Forrester sugiere que sólo los valores de las variables de nivel son necesarios para describir completamente la condición de un sistema.

Las demás no serían necesarias pues pueden ser computadas desde los niveles (Forrester, 1973). Esta hipótesis que propone que las funciones de nivel son leyes de la teoría, podría ser de enorme importancia a la hora de pensar la estructura de distintos modelos generados bajo la Teoría de los Sistemas Dinámicos.

Una vez identificados los modelos potenciales y los modelos actuales o efectivos, deben determinarse los modelos potenciales parciales, es decir, las partes de los modelos potenciales que no presuponen las leyes de la teoría, los cuales expresan los conceptos con los que se describen los fenómenos a explicar. Éstos se obtienen recortándoles a los modelos potenciales los términos T-teóricos: solo deben quedar los T-no teóricos, que son aquellos que existían con anterioridad a que Forrester desarrollase el modelo *World2*.

7.3.4 Modelos potenciales parciales de *World2*

En el estructuralismo metateórico, se identifican los sistemas empíricos sobre los que la teoría quiere dar cuenta, como aquellos cuya identificación no necesita las leyes teóricas o términos introducidos por la teoría. Así pues, serán descritos por los denominados modelos potenciales parciales M_{pp} , constituyendo la “base empírica” de la teoría.

D4: $M_{pp}(W2)$: $y = \langle P, T, C, F, N, S, Q, \rho, \mu, \beta, \gamma, \delta, \varphi, \omega, \sigma, \theta, \tau \rangle$ es un $W2$ parcial ($y = P, T, C, F, N, S, Q, \rho, \mu, \beta, \gamma, \delta, \varphi, \omega, \sigma, \theta, \tau \in M_{pp}(W2)$) si y sólo si existe un x tal que:

1) $x = \langle P, T, C, F, N, S, Q, \rho, \mu, \beta, \gamma, \delta, FPCI, CIGN, CIAFT, \varphi, NREM, BRMM, DRMM, NRMM, NRUN, CIM, \omega, POLAT, BRPM, DRPM, POLCM, POLN, \sigma, FPM, \theta, BRCM, DRCM, FCM, FC, BRFM, DRFM, CFIFR, \tau, QLC, QLF, QLP, QLM, CIQR \rangle$ es un $M_p(W2)$

2) $y = \langle P, T, C, F, N, S, Q, \rho, \mu, \beta, \gamma, \delta, \varphi, \omega, \sigma, \theta, \tau \rangle$

Los elementos que forman parte del conjunto “ y ” son T-no teóricos pues pueden ser determinados por teorías anteriores a la creación de *World2*, y de hecho, permiten contrastar al modelo informático con el mundo base.

7.3.5 Las aplicaciones propuestas y el elemento teórico básico de *World2*

A continuación se procederá a explicar cuál es el dominio de aplicaciones propuestas de *World2*, es decir, la clase de aquellos sistemas empíricos a los que se desea aplicar las leyes de la teoría. Desde un punto de vista formal, una aplicación propuesta es un modelo potencial parcial: $\mathbf{I}(\mathbf{W2}) \subseteq \mathbf{M}_{pp}(\mathbf{W2})$, y los miembros de $\mathbf{I}(\mathbf{W2})$ son sistemas empíricos que conforman una economía física (no-monetaria), conformada por personas que extraen recursos naturales y los convierten en capital, el cual destinan a la agricultura o a producir bienes de confort o simplemente lo acumulan, produciendo durante este proceso, polución.

El elemento teórico básico de la teoría formalizada como modelo informático *World2*, $\mathbf{T}(\mathbf{W2})$, puede ahora ser identificado a través de los conjuntos determinados previamente:

$$\mathbf{T}(\mathbf{W2}) := \langle \mathbf{K}(\mathbf{W2}), \mathbf{I}(\mathbf{W2}) \rangle$$

7.3.6 La red teórica de *World2*

Las teorías científicas, en general, no surgen aisladas, sino que lo hacen como parte de una tradición de teorías que ya versaban sobre el dominio de aplicación, al menos en forma parcial, y por ello se apoyan en términos y leyes preexistentes, aunque agregan novedades. La noción estructuralista que captura esta relación entre teorías es la de red teórica y representa la estructura de una teoría en sus diferentes niveles de especificidad.

En una red teórica se parte rizomáticamente desde las leyes fundamentales (en muchos casos una única), que se aplican a los diferentes tipos de sistemas de los que da cuenta la teoría, y además diferentes grupos de leyes “especiales”, que se aplican sólo a algunos de los sistemas, con distintos grados de especialización en la base. La relación que se da entre los elementos teóricos más generales y los más específicos es la de especialización (relación no-deductiva). Mediante la relación de especialización los elementos más generales de la cúspide se van concretando progresivamente en diversas direcciones cada vez más restrictivas y específicas, las ramas de la red teórica (ver Díez y Lorenzano, 2002). Cada rama añade restricciones/leyes adicionales a las del elemento teórico básico general que se ha analizado, restricciones adicionales ideadas para dar cuenta de aplicaciones específicas. Todas las aplicaciones de todas las ramas deben cumplir las leyes del elemento general y además las leyes específicas de su rama.

Los modelos de simulación particularmente tienen múltiples formas de especializarse, ya

que cada corrida, como se vio en el capítulo anterior, puede ser vista como representando “mundos posibles” (ver Weirich, 2013), con gran cantidad de parámetros modificables imbricados en forma compleja. Si se tiene en cuenta, además de esto, que una de las características principales de los sistemas complejos es el caos (lo que implica que cambios muy pequeños en alguna variable puede producir efectos muy potentes en los emergentes del sistema), puede notarse que las posibilidades son, a efectos prácticos, infinitas. Dado que la simulación analizada intenta dar cuenta de la economía física del mundo real, hay en principio algunas restricciones que, si bien el modelo no obliga al usuario a tomar, su transgresión implicaría crear mundos posibles sumamente irreales y de utilidad aparentemente nula, violando la pragmática de un trabajo como éste. Sin embargo, *World2* está preparado para probar el resultado de distintas políticas posibles, o simplemente ignorar algunos supuestos para ver qué sucedería: la ciencia-ficción con fines epistémicos es posible (y bienvenida). Esto implica que hay, necesariamente, algunas especializaciones (o mundos posibles) más interesantes que otros, en particular los seleccionados por Forrester para exponer las consecuencias de algunas políticas potenciales en el mundo. El foco a continuación será sobre dichas especializaciones.

Cada corrida de simulación arroja como salida una especialización terminal, donde cada una de las especificaciones ha adquirido alguna de las formas posibles según lo indicado en el elemento teórico básico (en el cual las especificaciones han sido dadas en forma parcial). La presente reconstrucción solo tiene en cuenta las especificaciones que llevan a las corridas que Forrester propuso, pero aquel que disponga del software podría introducir más, creando una red teórica diferente. El análisis próximo se limitará a dar cuenta de las que Forrester consideró las tres corridas más importantes en su trabajo, a saber: a) *Business As Usual* (BAU), la cual tiene en cuenta el comportamiento de la economía física del mundo sin ninguna política de prevención de la crisis (sin duda el mundo más similar al mundo base) b) Solución Intuitiva (SI), la cual toma en cuenta la aplicación de ciertas medidas de prevención que son *vox populi* en el discurso habitual del ambientalismo, y c) Equilibrio (EQ), la cual toma en cuenta la aplicación de aquellas medidas que llevan a evitar la crisis (al menos en el modelo *World2*).

Entonces, en las especializaciones seleccionadas las especificaciones pueden actuar de la siguiente manera:

- 1) Sobre la ley de población:

$$P(t_i) = P(t_{i-1}) + \mathbf{BR}(t_i) \cdot 1 \text{ año} - \mathbf{DR}(t_i) \cdot 1 \text{ año si } i > 0 \text{ y } P(t_i) = p(t_i) \text{ si } i = 0.$$

- a. Cambios en β_N : la tasa de natalidad normal puede tomar un valor igual a $\beta_N = 0,04 \frac{1}{\text{año}}$ (que representaría el estado del mundo en 1970) o un valor menor $\beta_N < 0,04 \frac{1}{\text{año}}$ (que representaría la aplicación de un plan de control de natalidad).

Esto repercute sobre BR dado que

$$BR = \rho(t_i) \cdot \beta_N \cdot \text{BRFM}(t_i) \cdot \text{BRMM}(t_i) \cdot \text{BRPM}(t_i) \cdot \text{BRCM}(t_i).$$

- b. Cambios en FC: el coeficiente de productividad alimenticia puede tomar un valor $FC=1$ (que representaría el estado del mundo en 1970), un valor $FC<1$ (que determinaría una producción de alimentos menor *per capita*, a fin de canalizar capital hacia la agricultura en detrimento del capital de inversión que genera polución) o un valor $FC>1$ (producción de alimento mayor a la de 1970). FC

repercute sobre FR dado que $FR = \frac{FPCI(t_i) \cdot FCM(t_i) \cdot FPM(t_i) \cdot FC}{1 \frac{\text{ualim}}{\text{persona.año}}}$, y a su vez, FR

repercute sobre BRFM (dado que $\text{BRFM} = 2 - 2 \cdot e^{-FR}$) y por ende en BR (dado que $BR(t_i) = \rho(t_i) \cdot \beta_N \cdot \text{BRFM}(t_i) \cdot \text{BRMM}(t_i) \cdot \text{BRPM}(t_i) \cdot \text{BRCM}(t_i)$ y también sobre DRFM (dado que $\text{DRFM} = 0,5 + 29,5 \cdot e^{-FR}$) y por ende en DR dado que $DR(t_i) = \rho(t_i) \cdot \mu_N \cdot \text{DRFM}(t_i) \cdot \text{DRMM}(t_i) \cdot \text{DRPM}(t_i) \cdot \text{DRCM}(t_i)$. Esta restricción también opera sobre la ley de la fracción de capital destinado a la agricultura: $CIAF(t_i) = CIAF(t_{i-1}) + (1 \text{ año}/CIAF) \cdot (CFIFR(t_{i-1}) \cdot CIQR(t_{i-1}) - CIAF(t_{i-1}))$ si $i > 0$ y $CIAF(t_i) = \delta(t_i)$ si $i = 0$. Esto es debido a que $CFIFR = 0,1 + 0,9 \cdot e^{-FR \cdot 1,75}$ y a que $CIQR = 0,7 \cdot e^{0,5 \cdot QLM/QLF}$ y a su vez $QLF = 2,7 - 2,7 \cdot e^{-FR \cdot 0,5}$.

- c. Cambios en BRCM y DRCM: pueden considerarse los efectos de la sobrepoblación en las tasas de natalidad y mortalidad o ignorarse. En caso de tenerse en cuenta, la forma que tomarán las funciones serán:

$$\text{BRCM}_{\rho_R} = \frac{2,1}{1 + e^{\rho_R/5}} \text{ y } \text{DRCM}_{\rho_R} = 0,9 \cdot e^{0,2 \cdot \rho_R} \text{ para todo } \rho_R, \text{ mientras que si se decide}$$

probar los efectos de ignorar los efectos de la sobrepoblación, pues BRCM y DRCM toman la forma de funciones partidas, con la forma anterior para $\rho_R < 1$ y, luego, para $\rho_R \geq 1$, $\text{BRCM}_{\rho_R} = 1$ y $\text{DRCM}_{\rho_R} = 1$. Esto repercute sobre BR, dado que $BR = \rho(t_i) \cdot \beta_N \cdot \text{BRFM}(t_i) \cdot \text{BRMM}(t_i) \cdot \text{BRPM}(t_i) \cdot \text{BRCM}(t_i)$ y también en DR, dado que $DR(t_i) = \rho(t_i) \cdot \mu_N \cdot \text{DRFM}(t_i) \cdot \text{DRMM}(t_i) \cdot \text{DRPM}(t_i) \cdot \text{DRCM}(t_i)$.

2) Sobre la ley de recursos naturales no renovables:

$$\text{si } i > 0 \text{ } NR(t_i)_{\text{def}} = NR(t_{i-1}) - \mathbf{NRUR}(t_i) \cdot 1 \text{ año y si } i=0 \text{ } NR(t_i) = \varphi(t_i)$$

- a. Cambios en NRUN: la tasa de consumo de recurso natural por persona puede considerarse como la normal de 1970 ($NRUN = 1 \frac{urecnat}{persona.año}$) o puede considerarse la instanciación de una política de ahorro de recursos, en cuyo caso $NRUN < 1 \frac{urecnat}{persona.año}$. NRUN repercute sobre NRUR, dado que $NRUR = \rho(t_i) \cdot NRMM(t_i) \cdot \mathbf{NRUN}$.

3) Sobre la ley de capital de inversión:

$$CI(t_i) = CI(t_{i-1}) + \mathbf{CIG}(t_i) \cdot 1 \text{ año} - CID(t_i) \cdot 1 \text{ año y si } i=0 \text{ } CI(t_i) = \gamma(t_i)$$

- a. Cambios en CIGN: se puede considerar que el capital de inversión generado por persona normal es el de 1970 ($CIGN = 0,05 \frac{urecnat}{persona.año}$) o se pueden pensar políticas de mayor productividad económica (por ende $CIGN > 0,05 \frac{urecnat}{persona.año}$) o políticas de decrecimiento (y por ende $CIGN < 0,05 \frac{urecnat}{persona.año}$). Esto repercutirá sobre CIG, dado que $CIG = \rho(t_i) \cdot CIM(t_i) \cdot \mathbf{CIGN}$.

4) Sobre la ley de polución:

$$\text{si } i > 0 \text{ } POL(t_i)_{\text{def}} = POL(t_{i-1}) + \mathbf{POLG}(t_i) \cdot 1 \text{ año} - POLA(t_i) \cdot 1 \text{ año y si } i=0 \text{ } POL(t_i) = \omega(t_i)$$

- a. Cambios en POLN: la contaminación generada por persona puede considerarse como la normal en 1970 (es decir $POLN = 1 \frac{urecnat}{persona.año}$) o considerar políticas ecologistas de descenso de la polución generada

$(POLN < 1 \frac{urecnat}{persona.año})$. Esto repercute sobre POLG dado que

$$POLG(t_i)_{def} = \rho(t_i) \cdot POLCM(t_i) \cdot POLN.$$

5) Sobre la ley de capital de inversión destinado a agricultura:

$$CIAF(t_i) = CIAF(t_{i-1}) + (1 \text{ año}/CIAFT) \cdot (CFIFR(t_{i-1}) \cdot CIQR(t_{i-1}) - CIAF(t_{i-1})) \text{ si } i > 0 \text{ y}$$

$$CIAF(t_i) = \delta(t_i) \text{ si } i=0$$

a) Cambios en FC: los cambios en el coeficiente de alimentos fueron expresados ya en 1) c).

A continuación, se procederá a analizar los distintos niveles de especialización:

Primera línea de especialización: consideración de los efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad (especificación 1.c)

D5: M(SOBREPOB): x es un *World2 con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad* ($x \in M(\text{SOBREPOB})$) syss

1) $x \in M(W2)$

$$2) BRCM_{\rho R} = \frac{2,1}{1 + e^{\rho R/5}} \text{ y } DRCM_{\rho R} = 0,9 \cdot e^{0,2 \cdot \rho R} \text{ para } \rho R, \text{ en todo } t.$$

D6: M(NOSOBREPOB): x es un *World2 sin efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad* ($x \in M(\text{NOSOBREPOB})$) syss:

1) $x \in M(W2)$

$$2) \text{ Si } \rho R < 1: BRCM_{\rho R} = \frac{2,1}{1 + e^{\rho R/5}} \text{ y } DRCM_{\rho R} = 0,9 \cdot e^{0,2 \cdot \rho R}; \text{ y si } \rho R \geq 1 \text{ } BRCM_{\rho R} = 1 \text{ y}$$

$$DRCM_{\rho R} = 1$$

Si bien Forrester realiza una corrida bajo este supuesto, no será considerada como una de las más trascendentes, por lo que en la red teórica que se propone se dejará esta rama trunca.

Segunda línea de especialización: consideración de políticas de control de natalidad. (especificación 1.a)

D7: M(SP-NATNOR): x es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad y natalidad normal ($x \in M(\text{SP-NATNOR})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SOBREPOB})$
- 2) $\beta_N = 0,04 \frac{1}{\text{año}}$ en todo t .

D8: M(SP-CTRLNAT): x es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad y control de natalidad ($x \in M(\text{SP-CTRLNAT})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SOBREPOB})$
- 2) $\beta_N < 0,04 \frac{1}{\text{año}}$, y es constante en todo t .

Tercera línea de especialización: consideración de políticas de control de explotación de recursos naturales no renovables. En esta línea se hallan tanto modelos de SP-NATNOR como de SP-CTRLNAT. (especificación 2.a)

En la línea de SP-NATNOR, se encuentran:

D9: M(SP-NN-RECNR): x es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, natalidad normal y sin políticas de control de recursos naturales no renovables ($x \in M(\text{SP-NN-RECNR})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-NATNOR})$
- 2) $\text{NRUN} = 1 \frac{\text{urecnat}}{\text{persona.año}}$ en todo t .

D10: M(SP-NN-RECRED): x es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, natalidad normal y con políticas de reducción de la explotación de recursos naturales no renovables ($x \in M(\text{SP-NN-RECRED})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-NATNOR})$
- 2) $\text{NRUN} < 1 \frac{\text{urecnat}}{\text{persona.año}}$ y constante en todo t .

Si bien es posible realizar corridas bajo este supuesto, no se trataría de ninguna de las corridas que se han seleccionado por su importancia, por lo que en la red teórica propuesta se dejará

esta rama trunca.

En la línea de SP- CTRLNAT, se encuentra:

D11: M(SP-CN-RECNOR): *x* es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, políticas de control de natalidad y sin políticas de control de recursos naturales no renovables ($x \in M(\text{SP-CN-RECNOR})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-CTRLNAT})$
- 2) $\text{NRUN} = 1 \frac{\text{urecnat}}{\text{persona.año}}$ en todo *t*.

Si bien es posible realizar corridas bajo este supuesto, no se trataría de ninguna de las corridas que se han seleccionado por su importancia, por lo que en la red teórica propuesta se dejará esta rama trunca.

D12: M(SP-CN-RECRED): *x* es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, políticas de control de natalidad y sin políticas de control de recursos naturales no renovables ($x \in M(\text{SP-CN-RECRED})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-CTRLNAT})$
- 2) $\text{NRUN} < 1 \frac{\text{urecnat}}{\text{persona.año}}$ y constante en todo *t*.

Cuarta línea de especialización: consideración de políticas de control de emisión de polución. En esta línea se hallan tanto modelos de SP-NN-RECNOR como de SP-CN-RECRED. (especificación 4.a)

En la línea de SP-NN-RECNOR, se encuentra:

D13: M(SP-NN-RN-POLNOR): *x* es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, natalidad normal, sin políticas de control de recursos naturales no renovables y sin políticas de control de emisión de polución ($x \in M(\text{SP-NN-RN-POLNOR})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-NN-RECNOR})$
- 2) $\text{POLN} = 1 \frac{\text{upol}}{\text{persona.año}}$ en todo *t*.

D14: M(SP-NN-RN-POLRED): *x* es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la

natalidad y mortalidad, natalidad normal, sin políticas de control de recursos naturales no renovables y con políticas de control de emisión de polución ($x \in M(\text{SP-NN-RN-POLRED})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-NN-RECNOR})$
- 2) $\text{POLN} < 1 \frac{upol}{persona.año}$ y constante, en todo t.

Si bien es posible realizar corridas bajo este supuesto, no se trataría de ninguna de las corridas que se han seleccionado por su importancia, por lo que en la red teórica propuesta se dejará esta rama trunca.

En la línea de SP-CN-RECRED, se encuentra:

D15: $M(\text{SP-CN-RR-POLNOR})$: *x es un World2 con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, políticas de control de natalidad, políticas de reducción de la extracción de recursos naturales no renovables y sin políticas de control de emisión de polución* ($x \in M(\text{SP-NN-RR-POLNOR})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-CN-RECRED})$
- 2) $\text{POLN} = 1 \frac{upol}{persona.año}$ y constante, en todo t.

Si bien es posible realizar corridas bajo este supuesto, no se trataría de ninguna de las corridas que se han seleccionado por su importancia, por lo que en la red teórica propuesta se dejará esta rama trunca.

D16: $M(\text{SP-CN-RR-POLRED})$: *x es un World2 con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, políticas de control de natalidad, políticas de reducción de la extracción de recursos naturales no renovables y con políticas de reducción de emisión de polución* ($x \in M(\text{SP-CN-RR-POLRED})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-CN-RECRED})$
- 2) $\text{POLN} < 1 \frac{upol}{persona.año}$ y constante, en todo t.

Quinta línea de especialización: consideración de políticas de aumento o reducción de la productividad de producción agrícola. En esta línea se hallan tanto modelos de SP-NN-RN-POLNOR como de SP-CN-RR-POLRED (especificación 1.b).

En la línea de SP-NN-RN-POLNOR, se encuentra:

D17: M(SP-NN-RN-PN-FNOR): x es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, natalidad normal, sin políticas de control de recursos naturales no renovables, sin políticas de control de emisión de polución y sin políticas específicas sobre la productividad agrícola ($x \in M(\text{SP-NN-RN-PN-FNOR})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-NN-RN-POLNOR})$
- 2) $FC=1$ en todo t .

D18: M(SP-NN-RN-PN-FRED): x es un x es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, natalidad normal, sin políticas de control de recursos naturales no renovables, sin políticas de control de emisión de polución y con políticas de reducción de la productividad agrícola (esta política tiene el fin de obligar a invertir más capital en agricultura y menos a bienes generadores de polución), ($x \in M(\text{SP-NN-RN-PN-FRED})$) syss:

- 3) $x \in M(\text{SP-NN-RN-POLNOR})$
- 4) $FC < 1$ y constante en todo t .

Si bien es posible realizar corridas bajo este supuesto, no se trataría de ninguna de las corridas que se ha seleccionado por su importancia, por lo que en la red teórica propuesta se dejará esta rama trunca.

D19: M(SP-NN-RN-PN-FAUM): x es un x es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, natalidad normal, sin políticas de control de recursos naturales no renovables, sin políticas de control de emisión de polución y con políticas de aumento de la productividad agrícola ($x \in M(\text{SP-NN-RN-PN-FAUM})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-NN-RN-POLNOR})$
- 2) $FC > 1$ y constante en todo t .

Si bien es posible realizar corridas bajo este supuesto, no se trataría de ninguna de las corridas que se ha seleccionado por su importancia, por lo que en la red teórica propuesta se dejará esta rama trunca.

En la línea de SP-CN-RR-POLRED, se encuentra:

D16: M(SP-CN-RR-PR-FNOR): x es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la

natalidad y mortalidad, políticas de control de natalidad, políticas de reducción de la extracción de recursos naturales no renovables, políticas de reducción de emisión de polución y con políticas específicas sobre la productividad agrícola ($x \in M(\text{SP-CN-RR-PR-FNOR})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-CN-RR-POLRED})$
- 2) $FC=1$ en todo t .

Si bien es posible realizar corridas bajo este supuesto, no se trataría de ninguna de las corridas que se ha seleccionado por su importancia, por lo que en la red teórica propuesta se dejará esta rama trunca.

D17: $M(\text{SP-CN-RR-PR-FRED})$: x es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, políticas de control de natalidad, políticas de reducción de la extracción de recursos naturales no renovables, políticas de reducción de emisión de polución y con políticas de reducción de la productividad agrícola (esta política tiene el fin de obligar a invertir más capital en agricultura y menos a bienes generadores de polución) ($x \in M(\text{SP-CN-RR-PR-FRED})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-CN-RR-POLRED})$
- 2) $FC < 1$ y constante en todo t .

D18: $M(\text{SP-CN-RR-PR-FAUM})$: x es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, políticas de control de natalidad, políticas de reducción de la extracción de recursos naturales no renovables, políticas de reducción de emisión de polución y con políticas de aumento de la productividad agrícola ($x \in M(\text{SP-CN-RR-PR-FRED})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-CN-RR-POLRED})$
- 2) $FC > 1$ y constante en todo t .

Sexta línea de especialización (terminal): consideración de políticas de aumento o reducción de la generación de capital de inversión *per capita*. En esta línea se hallan tanto modelos de SP-NN-RN-PN-FNOR como de SP-CN-RR-PR-FAUM y SP-CN-RR-PR-FRED. (especificación 3.a).

En la línea de SP-NN-RN-PN-FNOR se encuentra:

D19: $M(\text{SP-NN-RN-PN-FN-CAPNOR})$: x es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, natalidad normal, sin políticas de control de recursos naturales no

renovables, sin políticas de control de emisión de polución, sin políticas específicas sobre la productividad agrícola y sin políticas específicas de control de generación de capital de inversión ($x \in M(\text{SP-NN-RN-PN-FN-CAPNOR})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-NN-RN-PN-FNOR})$
- 2) $\text{CIGN} = 0,05 \frac{ucapinv}{persona.año}$ en todo t.

La instanciación de este modelo especializado es la especialización terminal *Business As Usual (BAU)*, la cual representa la ausencia de toda política específica para evitar la crisis al enfrentar los límites del crecimiento económico. El resultado de esta corrida muestra una crisis desatada por el agotamiento de los recursos naturales a suceder en algún momento de mediados del Siglo XXI. Básicamente, esta corrida intenta dar cuenta del sistema económico tal cual es.

D20: $M(\text{SP-NN-RN-PN-FN-CAPRED})$: x es un *World2 con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, natalidad normal, sin políticas de control de recursos naturales no renovables, sin políticas de control de emisión de polución, sin políticas específicas sobre la productividad agrícola y con una política decrecentista de descenso de la generación de capital de inversión* ($x \in M(\text{SP-NN-RN-PN-FN-CAPRED})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-NN-RN-PN-FNOR})$
- 2) $\text{CIGN} < 0,05 \frac{ucapinv}{persona.año}$ y constante en todo t.

La instanciación de esta especialización no es de interés para este trabajo.

D21: $M(\text{SP-NN-RN-PN-FN-CAPAUM})$: x es un *World2 con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, natalidad normal, sin políticas de control de recursos naturales no renovables, sin políticas de control de emisión de polución, sin políticas específicas sobre la productividad agrícola y con una política de producción aumentada de capital de inversión por persona, es decir, de crecimiento económico* ($x \in M(\text{SP-NN-RN-PN-FN-CAPAUM})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-NN-RN-PN-FNOR})$
- 2) $\text{CIGN} > 0,05 \frac{ucapinv}{persona.año}$ y constante en todo t.

La instanciación de esta especialización no es de interés para este trabajo.

En la línea de SP-CN-RR-PR-FAUM tenemos:

D22: $M(\text{SP-CN-RR-PR-FA-CAPNOR})$: x es un *World2 con efectos de la sobrepoblación en*

la natalidad y mortalidad, políticas de control de natalidad, políticas de reducción de la extracción de recursos naturales no renovables, políticas de reducción de emisión de polución, con políticas de aumento de la productividad agrícola y sin políticas específicas de control de generación de capital de inversión ($x \in M(\text{SP-CN-RR-PR-FA-CAPNOR})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-CN-RR-PR-FAUM})$
- 2) $\text{CIGN} = 0,05 \frac{ucapinv}{persona.año}$ en todo t.

La instanciación de esta especialización no es de interés para este trabajo.

D23: $M(\text{SP-CN-RR-PR-FA-CAPRED})$: x es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, políticas de control de natalidad, políticas de reducción de la extracción de recursos naturales no renovables, políticas de reducción de emisión de polución, con políticas de aumento de la productividad agrícola y con una política decrecentista de descenso de la generación de capital de inversión ($x \in M(\text{SP-CN-RR-PR-FA-CAPRED})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-CN-RR-PR-FAUM})$
- 2) $\text{CIGN} < 0,05 \frac{ucapinv}{persona.año}$ y constante en todo t.

La instanciación de esta especialización no es de interés para este trabajo.

D24: $M(\text{SP-CN-RR-PR-FA-CAPAUM})$: x es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, políticas de control de natalidad, políticas de reducción de la extracción de recursos naturales no renovables, políticas de reducción de emisión de polución, con políticas de aumento de la productividad agrícola y con una política de producción aumentada de capital de inversión por persona, es decir, de crecimiento económico ($x \in M(\text{SP-CN-RR-PR-FA-CAPAUM})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-CN-RR-PR-FAUM})$
- 2) $\text{CIGN} > 0,05 \frac{ucapinv}{persona.año}$ y constante en todo t.

Una instanciación de esta especialización es SI (Solución Intuitiva), donde una serie de medidas intuitivas son aplicadas a fin de evitar la crisis, a pesar de los cual el modelo llega a una crisis de todas maneras, aunque retrasada en el tiempo respecto a la que ocurre en BAU.

La instanciación SI implica los siguientes valores de los parámetros especificados:

- 1) $\text{BRCM}_{pR} = \frac{2,1}{1 + e^{\rho R/5}}$ y $\text{DRCM}_{pR} = 0,9 \cdot e^{0,2 \cdot \rho R}$ para p_R , en todo t.

- 2) $\beta_N = 0,028 \frac{1}{\text{año}}$
- 3) $\text{NRUN} = 0,25 \frac{\text{urecnat}}{\text{persona.año}}$
- 4) $\text{POLN} = 0,7 \frac{\text{upol}}{\text{persona.año}}$
- 5) $\text{FC} = 1,25$
- 6) $\text{CIGN} = 0,06 \frac{\text{ucapinv}}{\text{persona.año}}$

En la línea de SP-CN-RR-PR-FRED se encuentra:

D25: M(SP-CN-RR-PR-FR-CAPNOR): *x* es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, políticas de control de natalidad, políticas de reducción de la extracción de recursos naturales no renovables, políticas de reducción de emisión de polución, con políticas de reducción de la productividad agrícola (esta política tiene el fin de obligar a invertir más capital en agricultura y menos a bienes generadores de polución) y sin políticas específicas de control de generación de capital de inversión ($x \in \text{M}(\text{SP-CN-RR-PR-FR-CAPNOR})$) syss:

- 1) $x \in \text{M}(\text{SP-CN-RR-PR-FRED})$
- 2) $\text{CIGN} = 0,05 \frac{\text{ucapinv}}{\text{persona.año}}$ en todo *t*.

La instanciación de esta especialización no es de interés para este trabajo.

D26: M(SP-CN-RR-PR-FR-CAPAUM): *x* es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en la natalidad y mortalidad, políticas de control de natalidad, políticas de reducción de la extracción de recursos naturales no renovables, políticas de reducción de emisión de polución, con políticas de reducción de la productividad agrícola (esta política tiene el fin de obligar a invertir más capital en agricultura y menos a bienes generadores de polución) y con una política de producción aumentada de capital de inversión por persona, es decir, de crecimiento económico ($x \in \text{M}(\text{SP-CN-RR-PR-FR-CAPAUM})$) syss:

- 1) $x \in \text{M}(\text{SP-CN-RR-PR-FRED})$
- 2) $\text{CIGN} > 0,05 \frac{\text{ucapinv}}{\text{persona.año}}$ y constante en todo *t*.

La instanciación de esta especialización no es de interés para este trabajo.

D27: M(SP-CN-RR-PR-FR-CAPRED): *x* es un *World2* con efectos de la sobrepoblación en

la natalidad y mortalidad, políticas de control de natalidad, políticas de reducción de la extracción de recursos naturales no renovables, políticas de reducción de emisión de polución, con políticas de reducción de la productividad agrícola (esta política tiene el fin de obligar a invertir más capital en agricultura y menos a bienes generadores de polución) y con una política de producción aumentada de capital de inversión por persona, es decir, de crecimiento económico ($x \in M(\text{SP-CN-RR-PR-FR-CAPRED})$) syss:

- 1) $x \in M(\text{SP-CN-RR-PR-FRED})$
- 2) $\text{CIGN} < 0,05 \frac{ucapinv}{\text{persona.año}}$ y constante en todo t.

Una instanciación de esta especialización es EQUI (Equilibrio), donde una serie de medidas son aplicadas a fin de evitar la crisis, esta vez alcanzando el equilibrio que evita la crisis, según el modelo *World2*.

La instanciación EQUI implica los siguientes valores de los parámetros especificados:

- 1) $\text{BRCM}_{pR} = \frac{2,1}{1 + e^{\rho R/5}}$ y $\text{DRCM}_{pR} = 0,9 \cdot e^{0,2 \cdot \rho R}$ para p_R , en todo t.
- 2) $\beta_N = 0,028 \frac{1}{\text{año}}$
- 3) $\text{NRUN} = 0,25 \frac{urecnat}{\text{persona.año}}$
- 4) $\text{POLN} = 0,5 \frac{upol}{\text{persona.año}}$
- 5) $\text{FC} = 0,8$
- 6) $\text{CIGN} = 0,03 \frac{ucapinv}{\text{persona.año}}$

A continuación, en la Fig. 7.1, se presenta el grafo (red teórica):

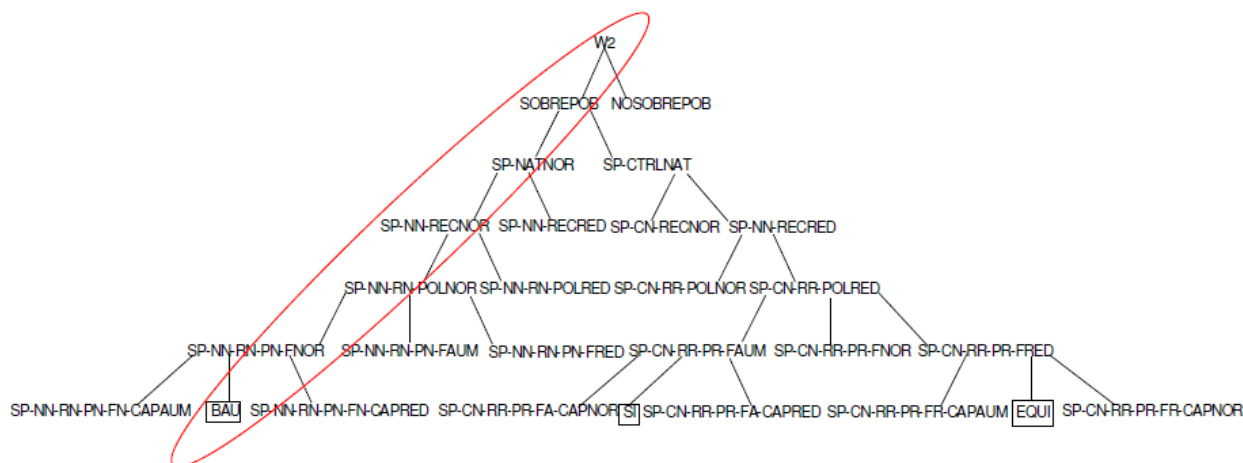


Fig. 7.1: Red teórica de *World2* (elaboración propia con Autodesk AutoCAD)

7.4 Reflexiones finales sobre la reconstrucción

7.4.1 Primer objetivo: reflexiones sobre la validación por correspondencia

En este capítulo del trabajo de tesis se ha realizado una reconstrucción metateórica estructuralista de un modelo de simulación. Es de suponerse que este proceso de análisis filosófico no puede efectuarse sobre cualquier tipo de simulación, sino sobre aquellas que presentan algún grado de similitud con teorías científicas. De otro modo, una heurística de análisis diseñada para tratar teorías no sería compatible con la tarea efectuada.

La presencia de una serie de términos que intentan aprehender entidades y relaciones del mundo *target* (es decir el mundo percibido empíricamente), que son ordenados sistemáticamente con el fin de explicar y predecir fenómenos de dicho mundo, no sólo da la pauta de la similitud de modelos informáticos como *World2* con teorías científicas, sino que más bien permite afirmar que dichas simulaciones son, esencialmente, teorías científicas, sólo que en vez de ser expresadas en lenguaje natural, han sido formalizadas en un lenguaje de programación de *software*.

Claro está que no toda simulación computacional cumple la condición de ser una teoría científica. Algunas, por ejemplo, tienen por función entretener, como algunos videojuegos, mientras otras tienen por función entrenar al usuario en alguna capacidad particular, como los simuladores de vuelo. En Banks (2009) puede verse una clasificación de distintas funcionalidades de las simulaciones computacionales.

También está claro que las simulaciones computacionales que son teorías científicas, no se limitan a ser solamente eso, sino que también son objetos tecnológicos, y por ende pueden aplicárseles las categorías de análisis provistas por la filosofía de la tecnología, como se ha efectuado en el capítulo 4 de este trabajo de tesis.

Los modelos de simulación, así como las teorías científicas tradicionales, deben ser validadas por la comunidad científica antes de aplicarse con un fin particular. Este fin particular, en el caso de los modelos globales, resulta crítico, ya que intenta orientar a decisores políticos de alto nivel en la formulación de procesos que intervengan sobre la administración de recursos a nivel mundial.

La forma en que la Concepción Heredada en la epistemología ha teorizado sobre la validación de teorías científicas implica un proceso que se da en el contexto de justificación, donde se deducen consecuencias observacionales desde las leyes o hipótesis a contrastar, y éstas son comparadas con mediciones experimentales. Si bien no es posible aseverar en ningún caso la veracidad absoluta de una teoría científica, al menos sí puede corroborarse, o, en términos popperianos, notar su “temple”. Esta idea básica expresa a la llamada “Teoría de la Correspondencia”, la cual fue analizada extensamente en el capítulo anterior. Allí se notó que la correspondencia de eventos *naïve*, método hegemónico para la validación de simulaciones, resultaba una base endeble para tal proceso, recomendando como propuesta superadora una validación por identidad parcial de estructuras.

Esto no significa de ninguna manera que los métodos de validación correspondentistas tradicionales deban suprimirse, pero sí significa que es necesario que sean complementados con un análisis profundo de la estructura de la simulación, de sus términos teóricos, funciones y relaciones. En este capítulo se ha mostrado que las reconstrucciones metateóricas estructuralistas tienen la capacidad de elucidar estas cuestiones aún si las teorías se presentan en la forma de un modelo de simulación formalizado en lenguaje informático. Este tipo de análisis permiten conocer en profundidad a las teorías abordadas, y revelar los supuestos que considera el investigador, lo que sienta las bases para una validación de “caja blanca”, es decir, teniendo en cuenta el contenido de la teoría, lo que permite diferenciar entre los investigadores imaginarios de Worrall (2014) analizados en el capítulo anterior, y decidir si son dignos de confianza.

En el caso de la reconstrucción de *World2*, el proceso de validación consistiría en la comprobación individual de las relaciones y funciones que fueron expuestas, no en forma correspondentista (dado que al funcionar la simulación como un sistema complejo no se arribaría al emergente del modelo diseccionando los submodelos individuales, lo cual provocaría resultados erróneos), sino por otros medios. Estos incluyen una revisión conceptual de cada relación y función, lo que implica asegurarse que haya consenso en la comunidad científica de que los términos relacionados por los modelos matemáticos se correlacionan de la manera que *World2* dice que lo hacen. Si esto no fuese posible por tratarse de un submodelo novedoso, habrá que rastrear los fundamentos teóricos de la postulación dicha relación o función, cosa que los autores deberían

realizar en forma exhaustiva en la documentación del *software*.

Este trabajo insumiría gran cantidad de recursos (especialmente tiempo), pero podría resultar la manera más fidedigna de realizar una validación, en vez de descansar sólo en la Teoría de la Correspondencia como único fundamento.

7.4.2 Segundo objetivo: reflexiones sobre el “pago epistémico” de las simulaciones

Este trabajo de tesis defiende la premisa particular que afirma que los modelos globales, siempre que puedan ser correctamente validados, representan una manera viable e interesante de obtener conocimientos útiles sobre la economía del mundo, y poder, en función de dichos conocimientos, intervenir sobre el mismo. Esta premisa puede ser derivada de una más general, que afirmaría que las simulaciones informáticas, siempre que puedan ser correctamente validadas, representan una manera válida e interesante de obtener conocimientos útiles sobre algún sistema *target* del mundo.

Resulta evidente que las simulaciones no son la única manera de obtener conocimiento. Desde los tiempos de Galileo las teorías científicas se plantearon y contrastaron a través de experimentos “reales”. La aparición de la tecnología informática que permitió desarrollar simulaciones para distintos ámbitos disciplinares no ha sustituido a los experimentos clásicos, aunque sí ha ocupado un nicho muy importante, complementario, en la ardua tarea de contrastar hipótesis científicas. Margaret Morrison (2015) analizó las distintas funciones de las simulaciones en la práctica científica. Esto incluye por ejemplo servir de contraste en casos donde no pueden hacerse experimentos físicos (como ocurre en astronomía), como paso previo antes de realizar los experimentos físicos (como sucede muchas veces en farmacología, donde los medicamentos son testeados *in silico* antes de comenzarse pruebas en animales y personas), etc. En todo caso, algunos autores como Morgan (2005) y Giere (2009), aseveraron que el *payoff* epistémico de los experimentos físicos es mayor que el de las simulaciones, apelando para ello al denominado “argumento de la materialidad”.

El argumento de la materialidad parte de la base de que los experimentos físicos poseen como ventaja epistémica el estar hechos de la misma cosa que el objeto de estudio, es decir, una materialidad concreta, mientras que las simulaciones se limitan a constituir mundos abstractos, y en todo caso es en estos mundos abstractos donde ocurren las cosas que ocurren al correr las simulaciones. Así, al estar hechas de las mismas cosas que el mundo, los componentes del experimento físico son capaces de reproducir las relaciones causales del fenómeno, y por ende

poseerían mayor potencial para arrojar luz sobre los mismos que las simulaciones.

Giere reconoció que

Desde principios teóricos y modelos asociados uno determina cuáles deberían ser algunos de los parámetros teóricos en un contexto experimental particular. El experimento se lleva a cabo y los datos/mediciones resultantes son comparados con la predicción desde teorías y modelos. (...) Hay una jerarquía densa de modelos que llevan hacia el modelo final del experimento el cual incluye un modelo del aparato de medición. Y la predicción no es comparada directamente con los datos sino con un modelo construido de los datos [en el sentido de Patrick Suppes]. Así, al final, hay una comparación modelo-modelo, y no modelo-datos. El punto epistemológico de la comparación es, por supuesto, confirmar o falsar la afirmación de que el modelo provee una adecuada representación del sistema objetivo. (2009, pp. 59-60).

Sin embargo, a pesar de compartir el hecho de que tanto en experimento como en simulaciones se comparan modelos, con lo que no está de acuerdo es con la postura defendida por Margaret Morrison respecto a que ambas prácticas poseen el mismo estatus epistemológico, justamente debido a que las simulaciones no arrojan mediciones reales a no interactuar causalmente con el mundo fenoménico.

El *payoff* epistemológico del experimento tradicional, debido a su conexión causal con el sistema objetivo, es una mayor (o menor) confianza en el ajuste entre el modelo y el sistema objetivo. Un experimento computacional, el cual no va más allá del sistema de simulación, no posee dicho *payoff* (Giere, 2009, p. 60).

Wendy Parker (2008) y Margaret Morrison (2015) se manifestaron en contra del argumento de materialidad. Parker afirmó que la justificación de inferencias acerca de los sistemas *target* depende de tener buenas razones para pensar que hay similitudes relevantes, ya sean materiales, formales, o alguna combinación de las dos, entre los sistemas. Esta afirmación sienta la base para pensar que el *payoff* epistémico podría no estar dado exclusivamente por la materialidad sino que también podría sumar el hecho de compartir similitudes del orden de lo estructural/formal, aprehendibles *via* modelización. Morrison apoyó este argumento al plantear que

(...) en muchos casos de experimentos tradicionales la conexión causal al objetivo no es lo que está haciendo el trabajo epistemológico. En otras palabras, los presupuestos de modelado juegan un rol integral en lo que tomamos como información causal recogida tanto desde el experimento como desde la simulación (2015, p. 242).

En su planteo, Morrison propuso que tanto en experimentos como en simulaciones hay modelos mediando entre la teoría y el sistema objetivo. Estos modelos incluyen los modelos de

datos *alla* Suppes (es decir, el cómo se construyen los datos a partir de la teoría de medición y de error), los modelos experimentales (que dan las bases para afirmar que algo realizado en un laboratorio o en una simulación funciona análogamente al sistema objetivo), etc. Sin estos modelos, no es posible extraer información útil del mundo. Lo que da potencial epistémico a estos modelos no es necesariamente la conexión causal con el mundo: esto queda a la vista al considerar contextos donde la medición es muy complicada, como sucede por ejemplo en la astronomía o en la física atómica. En este tipo de contextos (no en todos), sucede que los supuestos teóricos de modelado poseen mayor relevancia epistémica que lo que pueda medirse en el mundo, y de hecho hay situaciones en los contextos mencionados donde las mediciones físicas son validadas a través de simulaciones, inversamente a lo intuitivo.

Weirich (2013) aseveró que los modelos explicativos y los experimentos físicos se parecen en su modo de operar, ya que así como en el laboratorio se controlan distintas variables para ver cómo se comportan las demás, en el modelo son las idealizaciones las que funcionan como “control”, de modo de que los científicos puedan estudiar cómo se comportan los factores no idealizados. Winsberg (2010), si bien defiende el poder epistémico de las simulaciones, evitó colocar a las mismas “a la par” de las simulaciones, en una actitud más bien conservadora. Aquí se considerará que aunque lo perceptible sensorialmente suele ser innegablemente elocuente, negar o minimizar el valor de las simulaciones en base al argumento de materialidad resulta una actitud conservadora perjudicial para la comprensión de la práctica científica y tecnológica contemporánea.

Los modelos globales son ejemplos donde las variables involucradas son muy difíciles de medir en el mundo en forma fidedigna, y además, muchas veces los usuarios requieren verificar tendencias a mediano y largo plazo, lo que hace imposible una validación correspondentista al menos en tiempo real. La comparación con la medición en el mundo no aportará ningún *payoff* epistémico, al menos no en el momento en que es necesario que lo haga: a la hora de convencer a los usuarios de las bondades de trabajar con éstas herramientas. Es aquí que el argumento de Morrison permea la reflexión sobre los modelos globales: los presupuestos de modelado realizarán el trabajo epistemológico que brindará confianza a los usuarios, y permitirá aprender sobre el sistema objetivo. Esto hace imprescindible contar con dichos presupuestos para poder analizarlos, cosa que es posible gracias a análisis semanticistas como el propuesto aquí. La reconstrucción estructuralista desnuda los presupuestos de modelado y los deja al alcance de los analistas, y es por ello que se argumenta que en contextos como los planteados por los modelos globales, es epistemológicamente conveniente no limitarse a la comparación con el mundo como única metodología de validación.

7.4.3 Tercer objetivo: reflexiones sobre la comparabilidad de modelos de simulación

Suele suceder que dentro de las tareas habituales de los programadores informáticos aparezca la comparación de modelos. Esto se da generalmente cuando se tienen versiones diferentes de un mismo modelo, y se quiere encontrar las diferencias entre ellas por algún motivo determinado. Heckel (1978) propuso varios ejemplos de motivos para efectuar una comparación de modelos:

(1) Como una ayuda a la edición, para verificar modificaciones y detectar ediciones espurias; (2) como ayuda para el *debugging* [la purga del código], para encontrar las diferencias entre una versión de un programa que se sabe que trabaja correctamente y una versión que se sabe que no trabaja; (3) como una ayuda al mantenimiento del programa, para localizar y fusionar cambios al programa realizados por múltiples personas diferentes (u organizaciones); y (4) como herramienta de control de calidad, para resaltar las diferencias entre el output de la última versión y el output de una versión anterior. (p. 264).

Para ello, existen múltiples herramientas, aunque se basan en principios similares. Generalmente consisten en procesadores de texto que muestran en una interfaz de usuario una pantalla dividida donde se exponen los código fuente de los dos modelos a comparar y un algoritmo recorre línea por línea de los códigos buscando diferencias y similitudes, y generando finalmente un informe (denominado *diff* en la jerga de la computación) con los hallazgos efectuados. No importa el lenguaje de programación de los modelos comparados, ya que se analiza sintácticamente el texto: lo que el comparador detecta son las duplicaciones del código fuente en uno y otro modelo, sin importar lo que las simulaciones hagan o si poseen o no errores. Por supuesto, para que se encuentren similitudes, ambos modelos deberán estar en el mismo lenguaje de programación y mantener la misma sintaxis en las porciones de código duplicadas. Así, dos programas semánticamente iguales pero programados en distintos lenguajes serán analizados como programas diferentes. Y ciertas partes del código de un modelo que estén redactadas con una sintaxis distinta aunque realicen esencialmente la misma función podrían pasar asimismo desapercibidas por un *software* comparador.

Como ya se ha mencionado, Klaus Troitzsch (2013) analizó tres versiones diferentes de una simulación clásica del *management*: el *Garbage-Can Model* (Cohen *et al.*, 1972). Se trata de un modelo de cómo se toman decisiones en el contexto de una institución compleja como puede ser una Universidad. El modelo ha sido objeto de intensos debates y trabajos académicos, por lo cual se desarrollaron versiones actualizadas del mismo, como es el caso de la versión de Fioretti-Lomi-

Cacciaguerra (Lomi *et al.* (2003)) que además de realizar algunos cambios en el original, lo migraron del lenguaje FORTRAN al más moderno NetLogo, y una versión del propio Troizsch (2008) que modificó algunas conceptualizaciones centrales.

La comparación entre los tres modelos no hubiese sido posible utilizando los programas comparadores habituales del área. Por ello, para llevar a cabo su tarea Troizsch procedió a reconstruirlos mediante la herramienta metateórica estructuralista, y así logró llevar a cabo una comparación ya no sintáctica sino semántica: ya no importaba el lenguaje de los modelos originales, puesto que se extrayeron las relaciones, funciones y presupuestos de cada uno.

Troizsch (2013) explicó finalmente el objetivo de su análisis:

La reconstrucción de las tres variantes de la teoría fue primero utilizada para analizar al *garbage can model* y la extensión implementada por Lomi, Fioretti y Cacciaguerra en más detalle y encontrar bajo qué condiciones éstas aproximaciones teóricas pueden ser testeadas contra los resultados de la investigación empírica, dado que la reconstrucción clarifica qué términos de las variantes de la teoría son “ya sea directamente observables por los sentidos o mensurables por técnicas relativamente simples” (...), o más precisamente, GC-no teóricas, y así pueden ser medidas con la ayuda de otras teorías. Para la tercera variante la reconstrucción fue utilizada para diseñar una simulación desde cuyos fenómenos invariantes -relaciones entre entidades y sus propiedades- pueda ser derivado cuáles son observables, al menos en principio. Así, un uso doble de la visión estructuralista pudo ser mostrada (p. 134).

La reconstrucción no solamente le permitió a Troizsch una visión detallada de las diferencias semánticas entre las distintas versiones del modelo estudiado, sino que le permitió planificar una estrategia de contrastación empírica en función de discriminar qué términos de la teoría poseían un correlato mayor con el sistema *target*, e incluso le permitió diseñar nuevas versiones del modelo “más contrastables”, al reemplazar algunos términos teóricos por otros con correlato en el mundo *target*.

En definitiva, puede notarse que el uso de la herramienta metateórica permite realizar comparaciones profundas entre los modelos, centrándose en sus aspectos semánticos, más relevantes que los sintácticos a la hora de pensar sobre la validez de los mismos. A su vez, queda claro que una vez efectuada las reconstrucciones, pueden explotarse las diferentes ventajas analíticas de la herramienta para obtener información valiosa sobre cada modelo reconstruido. En el caso de la reconstrucción efectuada en el presente capítulo, queda lista la base para futuras comparaciones de *World2* con otros modelos globales, lo que podría arrojar luz sobre las ventajas y desventajas de este modelo con respecto a los otros. No obstante, dicho análisis queda fuera del alcance del presente trabajo de tesis.

7.5 Conclusiones

En el presente capítulo se realizó una reconstrucción metateórica del modelo global *World2* de Jay Forrester mediante la concepción estructuralista de las teorías. Dicha reconstrucción permitió mostrar los términos, relaciones, funciones y presupuestos de dicha simulación, mostrando que posee una estructura de teoría científica, y por ende, es, esencialmente, una teoría científica.

Además, se ha argumentado que las reconstrucciones estructuralistas permiten complementar a los métodos clásicos de validación de simulaciones informáticas, basadas en la Teoría de la Correspondencia, al permitir indagar sobre sus partes componentes y la relación entre las mismas y las distintas teorías científicas en que se basan.

También se ha argumentado en contra de la tesis de materialidad de los experimentos esbozada por Giere (2009), la cual le atribuye un mayor estatus epistemológico a los experimentos físicos por sobre las simulaciones, mostrando que en ciertos contextos, como sucede con los modelos globales, la dificultad de realizar contrastes con mediciones en el sistema *target* le otorga peso epistémico a los presupuestos del modelo a la hora de determinar la confianza en el mismo. Las reconstrucciones estructuralistas, al elucidar dichos presupuestos, resultan valiosas a la hora de determinar el *payoff* epistémico de las simulaciones.

Por último, se ha apoyado la tesis de Troitzsch (2013) sobre el valor de las reconstrucciones para realizar comparaciones entre simulaciones, sin importar su lenguaje de programación o sintaxis particular, razón por la cual el trabajo de reconstrucción efectuado en el presente capítulo podría servir de base para comparaciones con otros modelos globales.

En definitiva, el presente capítulo no se ha limitado a presentar la reconstrucción estructuralista de *World2*, sino también a argumentar a favor de las ventajas de utilizar el herramental metateórico en el área de las simulaciones informáticas.

Capítulo 8: Conclusiones

8.1 Introducción

El objeto de estudio del presente trabajo de tesis han sido los modelos globales, ese tipo tan particular de modelo computacional que se ha analizado con profundidad en estas páginas. Ha resultado atractivo analizar a los mismos como herramientas apropiadas para pensar de un modo racional una serie de tópicos propios de la planificación política y económica que habitualmente no parecen brillar justamente por la racionalidad en su tratamiento. La coyuntura política nacional e internacional parece necesitar de trabajos que apunten en esta dirección. Por otra parte, la cantidad de problemáticas interesantes desde la epistemología e historia de la ciencia que se derivan del análisis profundo de estos modelos, constituyeron la excusa ideal para su abordaje en una tesis doctoral.

En la próxima sección se tratarán las conclusiones del trabajo, organizadas según las preguntas formuladas en la primera parte de este trabajo de tesis, que se recuperan a continuación:

- ¿Qué aspectos socio-históricos resultaron relevantes para la creación, auge, decadencia y actualidad de los modelos globales?
- ¿Cómo impactaron los valores ideológicos de los grupos modeladores en la estructura matemático-computacional de los modelos?
- ¿Qué aspectos de la validación de simulaciones informáticas deberían tenerse en cuenta para aumentar la confianza epistémica en las mismas?

8.2 Conclusiones

8.2.1 ¿Qué aspectos socio-históricos resultaron relevantes para la creación, auge, decadencia y actualidad de los modelos globales?

A fin de contestar dicha pregunta, se ha dado cuenta de la historia de *World2*, el primer modelo global creado por el ingeniero Jay Wright Forrester desde múltiples ópticas.

En primer lugar, se utilizó una concepción metateórica kuhniana para abordar la historia de la Teoría de Sistemas Dinámicos (base teórica del modelo *World2*) de manera diacrónica. Por un lado se arrojó luz sobre el proceso conceptual que dio origen al modelo, y por otro se mostraron las ventajas de la metateoría kuhniana a tal fin.

Por otra parte, también se realizó una historia de los modelos globales *qua* simulaciones de la economía, lo que precisó un análisis histórico de la tecnología y las teorías científicas en esta área particular.

Finalmente, se argumentó acerca de la existencia de la influencia ideológica de una incipiente cosmovisión ecologista en la estructura conceptual de *World2*. Para demostrar eso, se realizó un análisis histórico de eventos, literatura y obras cinematográficas paradigmáticas, mostrando cómo el análisis de estos productos puede echar luz sobre los cambios culturales, y estos a su vez inciden poderosamente en los productos científicos y tecnológicos como los modelos globales.

Así, se intentó dar cuenta de un hecho puntual (la creación de *World2*) como un hito en un largo y complejo proceso de evolución científica y tecnológica, que implicó, para su comprensión profunda, un análisis tanto de elementos internos como externos, siendo incompletos unos sin los otros.

Luego se proveyó una descripción del contexto histórico de la década de 1970 en lo concerniente a los modelos globales, dado que se trata del momento de máxima fertilidad en esta materia. Lo que se ha buscado proveer es la cosmovisión asociada a cada grupo de investigadores involucrados en el proceso, y su relación con su contexto sociohistórico, cultural y académico, para los modelos globales más relevantes de la década, en especial *World3* del grupo Meadows y el Modelo Mundial Latinoamericano del grupo Bariloche.

Se trabajó entonces sobre los hechos que dieron origen a los principales modelos globales, la mayoría de los cuales emerge como “respuesta” a *World2* o a su sucesor *World3*. También se hizo hincapié en el Sexto Congreso del IIASA, evento que congregó a los modeladores más importantes y cuyas actas representan el documento más importante escrito sobre la materia. Allí se remarcó sobre los orígenes históricos de cada uno de los grupos modeladores más importantes del momento, de modo de resaltar, justamente, la importancia de los modelos *World* como iniciadores del movimiento.

También se realizó un análisis histórico de lo sucedido en los años 80 y 90, período de decadencia del modelado global, arribándose a la conclusión de que la cosmovisión neoliberal imperante en dichos años llevó al reemplazo de los modelos globales por modelos más cortoplacistas basados en métodos econométricos, mientras que por otro lado, la ciencia de la complejidad ocupó el espacio académico (y los recursos) previamente dedicados a esta área. Cabe resaltar como motivo del auge la desconfianza epistémica de los usuarios en los métodos y resultados del modelado.

Finalmente, se hizo referencia a una serie de acontecimientos actuales donde, desde distintos espacios académicos se busca recuperar las discusiones sobre el modelado global, al incorporar a las conceptualizaciones la nueva tecnología en *hardware* y *software*, siendo el presente trabajo parte de dicho movimiento.

8.2.2 *¿Cómo impactaron los valores ideológicos de los grupos modeladores en la estructura matemático-computacional de los modelos?*

Para analizar esta pregunta, se realizó una elucidación ontológica de los modelos globales, concluyéndose su entidad simultánea de objetos epistémicos y objetos tecnológicos. Esta consideración permitió su análisis valorativo desde herramientas conceptuales de la filosofía de la ciencia y de la tecnología, observándose el modo en que los valores no-epistémicos (políticos, ideológicos) han permeado a los modelos globales en sus dos dimensiones constitutivas. El estudio histórico de la controversia Meadows-Bariloche apoya esta tesis, al exhibir la penetración ideológica en la concepción de sus respectivos modelos. Por ejemplo, en el caso de los Meadows, no se ha considerado una serie de variables referidas a la distribución de la riqueza (ya que el sistema-mundo se trata como un solo bloque uniforme) y se intenta evitar una catástrofe futura por agotamiento de recursos. Por otro lado, los modeladores de Bariloche enfatizan que el mundo ya se encuentra en un estado fuertemente desigual e injusto, y por ello el modelo intenta proveer elementos de análisis que permitan llegar a un estado óptimo futuro (maximizando la Esperanza de Vida al Nacer). Estas enormes diferencias ideológicas (y otras) configuran la estructura matemática de ambos modelos, como se ha mostrado en el presente trabajo.

8.2.3 *¿Qué aspectos de la validación de simulaciones informáticas deberían tenerse en cuenta para aumentar la confianza epistémica en las mismas?*

Para contestar esta pregunta, se presentaron primero las problemáticas estudiadas en el campo novel denominado “filosofía de las aplicaciones M&S”, a fin de analizar las ventajas de la introducción de dicho marco para el análisis de modelos globales. Se llegó a la conclusión de que dicho campo presenta una dicotomía problemática (por tender a desplazar a una parte de la comunidad de modeladores por la metodología que utilizan) y se realizó un análisis histórico de la misma, llegando a la conclusión de que se la ha importado desde una discusión clásica de las

ciencias sociales (positivismo vs. interpretativismo). Asimismo, también se ha mostrado que es perfectamente posible colapsar dicha dicotomía al integrar distintas parcelas de código en un mismo *software* bajo cualquiera de las dos concepciones, lo que complejiza el análisis de validación que se proponen para estas dos áreas dicotómicas: ya no basta el simple correspondentismo positivista o la teoría del consenso del constructivismo.

Seguidamente, se presentaron distintas posiciones relevantes en epistemología de la computación para el análisis de la problemática en la validación de simulaciones. Se buscó mostrar que el método hegemónico del campo, la validación por correspondencia de eventos, presenta una cantidad de problemas conceptuales, y se propuso su reemplazo por un método novedoso de validación por identidad parcial de estructura. Este método concentra su potencial formal en la estructura del modelo (y en la estructura del *target* modelado, según lo construido mediante las mejores teorías disponibles sobre el mismo), en vez de en la mera comparación entre los datos medidos en el *target* y los aportados por la simulación, que podrían presentar coincidencias por el uso de estrategias laboriosas de calibración sin reproducir los mecanismos causales del *target*. Se asevera que el nuevo método llevará a largo plazo a un mejor conocimiento del mundo y sus mecanismos.

Finalmente se realizó una reconstrucción racional del modelo global *World2* mediante las herramientas provistas por la concepción estructuralista de las teorías. Dicha reconstrucción permitió mostrar los términos, relaciones, funciones y presupuestos de dicha simulación, mostrando que posee una estructura de teoría científica, enfatizando su estatus ontológico de objeto epistémico.

Además, se ha argumentado que las reconstrucciones racionales (en especial las del estructuralismo metateórico) permiten complementar a los métodos clásicos de validación de simulaciones informáticas, basadas en la teoría de la correspondencia, al permitir indagar sobre sus partes componentes y la relación entre las mismas y las distintas teorías científicas en que se basan.

También se ha argumentado en contra de la tesis de materialidad de los experimentos que le atribuye un mayor estatus epistemológico a los experimentos físicos por sobre las simulaciones computacionales, mostrando que en ciertos contextos, la dificultad de realizar contrastes con mediciones en el sistema *target* le otorga peso epistémico a los presupuestos del modelo a la hora de determinar la confianza en el mismo.

Por último, se ha enfatizado el valor de las reconstrucciones racionales estructuralistas para realizar comparaciones entre simulaciones, sin importar su lenguaje de programación o sintaxis particular.

En definitiva, estas herramientas que provee la filosofía pueden servir para aumentar la confianza de los usuarios en los modelos globales para la planificación y toma de decisiones.

8.3 ¿Qué hacer con los modelos globales?

Se ha realizado un esfuerzo en el presente trabajo, especialmente en el capítulo 4, en mostrar que los modelos globales son (una forma algo particular de) teorías científicas. Ello implica varias cosas. En primer lugar, que antes de utilizarse como insumos para tomar decisiones, es necesario que sean validados, que reciban aceptación por parte de la comunidad científica. Se ha presentado en este trabajo las bases necesarias para lograr tal cosa. Mencionó Forrester (2013):

La validez (o significancia) de un modelo debe ser juzgada por su adecuación para un propósito particular. Un modelo es sólido y defendible si cumple con lo que se esperaba de él. Esto significa que la validez, como un concepto abstracto divorciado del propósito, no tiene significado útil (p. 115).

Entonces, cabe preguntarse qué objetivo tienen los modelos globales.

El propósito de los modelos (...) [de la Teoría de Sistemas Dinámicos, pero valdría para cualquier modelo global] es asistir en el diseño de sistemas (...) económicos mejorados. ¿Cómo juzgaremos si los modelos son adecuados para este propósito? El *test* definitivo es si resultan o no mejores sistemas a partir de las investigaciones basadas en la experimentación con modelos. Por este criterio, la validez de los modelos (...) no es separable de su efectividad como cosmovisión y disciplina (p.115).

También es necesario que los valores no-epistémicos (ideológicos, políticos) de los modeladores sean explicitados, a fin de que los usuarios verifiquen su adhesión o no a dichos valores. Finalmente, es menester que, como conjunto de enunciados sobre el mundo, sean puestos a prueba y mejorados constantemente, ya que el entendimiento que una sociedad dispone del mundo se basa en ellos.

Al mismo tiempo, se ha mostrado que los modelos globales son tecnologías, herramientas para la solución de problemas. En este caso, los problemas tienen que ver con la prospectiva a corto, mediano y largo plazo, a fin de tomar decisiones de planificación correcta. Se pueden proponer mundos posibles, optimizarlos y verificar su viabilidad. Y tomar las acciones que lleven hacia los mundos posibles preferidos y alejen a la sociedad de los mundos posibles problemáticos.

Como toda teoría científica (y en especial aquellas que intentan abrir portales para mirar hacia el futuro), no puede esperarse una confiabilidad absoluta, no puede esperarse la certeza de las predicciones absolutas. Así, es posible que aún el modelo global validado con el máximo de rigor arroje *outputs* erróneos. Pero puede asumirse que aún si se llevase el arte del modelado y la

validación hacia un óptimo, su confiabilidad nunca sería total. Mencionó Forrester (2013) que “En las fases tempranas solo podemos esperar establecer un grado de confianza que es menor que completo. No puede haber prueba cierta de éxito final hasta que se haya alcanzado” (p. 116).

Y más adelante prosiguió:

Si bien existen estructuras organizacionales, políticas y reacciones humanas estables, y estas determinan las principales características dinámicas de un sistema, no podemos asumir un modelo *perfecto* en el cual *toda* relación se conozca con *exactitud*. Entonces, estamos comprometidos con modelos en los cuales *toda* función (...) tiene, al menos en principio, un componente de ruido o incertidumbre. Por definición, el patrón temporal exacto de este ruido es desconocido, y no hemos descubierto sus causas generadoras (p. 124).

Lo que debería quedar claro del presente análisis es que la siempre presente incertidumbre no puede resultar excusa para no planificar. No conocer con certeza un evento futuro no implica que no pueda saberse con cierta anticipación al menos la tendencia de comportamiento de un sistema. Resulta racional tomar acciones *a pesar* de no saber con certeza que algo malo efectivamente sucederá. La plausibilidad es suficiente para alertar al decisor de la potencialidad de una catástrofe, y ante esta, no puede alegarse ignorancia como excusa para el no accionar. “(...) aún un simple e incluso inexacto modelo puede todavía ser tremendamente valioso si aporta sólo un entendimiento un poco mejor de las razones para un éxito o falla mayor” (Forrester, 2013, p. 116).

El estado tremendamente injusto y desigual de nuestro mundo tiene que ser considerado una excusa suficiente para intervenirlo, y los modelos globales aportan direcciones plausibles hacia dónde ir. Los primeros resultados obtenidos de las intervenciones, a su vez, proveerían información muy valiosa para mejorar los modelos globales. Se trata pues, de conformar un círculo virtuoso.

El *test* persuasivo es así para el propósito del modelo – ¿el comportamiento del sistema real cambia realmente como lo predice el modelo? Un *test* de verdad es posible sólo luego que el cambio de diseño sea efectuado y haya alguna medición u observación de los cambios de *performance* en el sistema real (Forrester, 2013, p. 117).

Así pues, si bien se ha hecho hincapié en el necesario proceso de validar modelos *a priori*, puede decirse que un modelo global será exitoso en la medida que ilumine el camino hacia un mundo mejor.

De todas maneras, se necesita complementar los resultados obtenidos a partir de los modelos globales con las opiniones de los expertos, y de la comunidad en general, en forma abierta y democrática. Dada la relevancia de las decisiones que se toman al nivel que atienden los modelos globales, es necesario que la ciudadanía conozca y acepte la metodología con la que se toman las

decisiones en cuestión. Y por otro lado, también es necesario que los ciudadanos conozcan y acepten (y contribuyan en estimar) los riesgos asumidos, tanto debido a las acciones como a las omisiones. Así pues, queda claro que los modelos globales son una forma de complementar al medio habitual de razonamiento de los seres humanos (los modelos mentales, como se adujo en el capítulo 1 del presente trabajo de tesis), y no una forma de reemplazarlos. Sobre ello se dice en Meadows *et al.* (1982):

Algunos modelos computacionales se utilizan directamente para tomar decisiones en tiempo real acerca de cosas relativamente sencillas pero minuciosamente complicadas, como las operaciones químicas en una refinería, las corrientes de pedidos para un vendedor multiproducto, o la mezcla óptima para la alimentación animal. Pero muy pocos problemas son tan bien y mecánicamente entendidos que una computadora pueda hacerse cargo del proceso decisorio entero. Más usualmente la computadora se utiliza para calcular unos pocos *inputs* para una política que será finalmente decidida por el intrincado toma-y-daca de los modelos mentales. Un modelo demográfico, por ejemplo, puede ser utilizado para calcular las características de la fuerza de trabajo de 1990 [8 años posteriores a la publicación del trabajo], como un *input* para una política laboral. Un modelo econométrico puede ser utilizado para pronosticar el crecimiento económico general, el cual será un factor tomado en cuenta en una decisión de inversión. Un modelo de simulación puede decirle a un líder nacional cuáles serán las repercusiones económicas de una política de conservación de la energía débil o fuerte. O un modelo de ciudad puede servir para demostrar claramente cómo los diferentes servicios de una ciudad (agua, transporte público, remoción de residuos sólidos) pueden ser financiados. En otras palabras, los modelos computacionales son utilizados de muchas maneras distintas, muy pocas de las cuales involucran extraer instrucciones acerca de lo que alguien debe hacer. La mayoría de los modelos se utilizan para hacer seguimiento de muchas cosas, para correr pronósticos bajo diferentes conjuntos de presupuestos, o proveer un marco conceptual general que ayudará en pensar o comunicar acerca de un problema. (pp. 9-10).

El arte de construir modelos globales y validarlos ha llegado, puede sostenerse, a un estadio en que es posible sostener plausibilidades. Estas plausibilidades serán más confiables en la medida que se siga trabajando en mejorar los modelos y sus validaciones asociadas. Abandonar esta tarea, es abandonar una de las herramientas más interesantes para el conocimiento del sistema mundo y por ende, para la mejora de sus aspectos más relevantes, y para el apoyo a la toma de decisiones relevantes. Se espera que el presente trabajo de tesis haya dejado en claro esta posición y contribuya a estimular el retorno a la interés en estos modelos y en el trabajo interdisciplinario que les dio origen.

8.4 Proyectos futuros y cierre

Este trabajo de tesis puede servir de puntapié inicial para una serie de trabajos futuros en el área de la epistemología e historia de la ciencia. Por un lado, las reconstrucciones racionales de las teorías que dieron origen a los modelos globales (o a los modelos mismos) no han sido exploradas. La Teoría de Sistemas Dinámicos de Forrester, por su importancia y amplia aplicación, sería una fuerte candidata a ser analizada en profundidad mediante alguna concepción filosófica.

Por otra parte, el tópico de la validación de simulaciones sigue siendo controversial. Un aspecto de actual vigencia es el de la integración y validación conjunta de multimodelos. Se busca proveer marcos que permitan la utilización integrada de modelos diferentes (y concebidos bajo teorías y cosmovisiones distintas) para tratar con sistemas complejos. Aquí se busca también un marco racional que permita la complementación de métodos formales (como el propuesto aquí) con la opinión de expertos. Profundizar en esta cuestión podría ser beneficioso para el trabajo con modelos globales.

Por otra parte, sería pertinente un enfoque desde la filosofía política de las condiciones de integración de los modelos globales para la toma concreta de decisiones. Las características epistemológicas de los modelos parecen hacerlos compatibles con la racionalidad derivada del Principio de Precaución, que básicamente plantea que ante la plausibilidad de un desastre no es necesaria la certeza absoluta de dicho desastre para actuar. Ni los modelos globales ni ninguna otra herramienta de planificación pueden predecir el futuro con una eficacia perfecta, pero si pueden aportar información plausible sobre él, y por ende servir de base para la planificación.

Finalmente, lo más interesante sería retomar los trabajos sobre modelos globales concretos, a la luz de las mejoras en tecnología (de *hardware* y *software*) y de los avances epistemológicos aquí presentados (los existentes y los aportados en este trabajo). Estos trabajos deberían explorar las cuestiones inherentes al modelado y la validación por una parte y por la otra deberían profundizar sobre lo que se sabe acerca del mundo y cómo se aprende mediante el uso de los modelos. Pero el aspecto más relevante a explorar, como se dijo antes, es el de la generación de información y su utilización para diseñar políticas concretas para mejorar el bienestar de las personas. Aquí deberían explorarse las posibilidades de integración de los modelos con la democracia y, en definitiva, explicitar y reforzar las ventajas del uso de los mismos a fin de convencer a políticos y público en general de que se está ante una tecnología que bien podría ser determinante en la búsqueda de un mundo mejor.

Los modelos globales no son mágicos, son simplemente representaciones condensadas de lo que se sabe en el momento sobre un tema determinado. Son por ende falibles y perfectibles. Pero son perfectamente adecuados para proveer una base científica a las decisiones, permiten justificarlas racionalmente. Sin embargo, requieren, como se dijo, otros apoyos, de los expertos y la ciudadanía.

Todos estos factores podrían mejorar enormemente el resultado de las decisiones políticas y su aceptación por el público.

Bibliografía

- Agazzi, E. (1998), From Technique to Technology: the Role of Modern Science. *Phil & Tech*, 4(2), 1-9.
- Agresti, W. (2011), Towards an IT Agenda. *Communications of the Association for Information Systems*, 28, 17.
- Alker, H. (1976), *Global Modelling Alternatives*. Berlin: Dept. Of Political Science of the MIT and Wissenschaftszentrum.
- Alonso Amo, F., Martínez Normand, L., Segovia Pérez, F. (2005), *Introducción a la ingeniería del software*. Madrid: Delta.
- Ares, O., Di Sciulo, A., Jiménez, G., Miguel, H., Paruelo, J., Reynoso, L. (2006), Nuevos roles para propiedades y relaciones en la estructura de una analogía. *Signos Filosóficos*. 8(16), 81-96.
- Bailey, R. (1989), Dr. Doom, *Forbes*. 16/09/89.
- Balzer, W., Moulines, U., Sneed, J., (2012), *Una Arquitectónica para la Ciencia: El Programa Estructuralista*. (Trad. P. Lorenzano). Bernal: Universidad de Quilmes.
- Banks, C. (2009), What Is Modeling and Simulation? En J. Sokolowski, C. Banks (eds.) *Principles of Modeling and Simulation: A Multidisciplinary Approach* (pp. 3-24). Hoboken: Wiley.
- Banks, J. (1998), Principles of Simulation. En J. Banks (ed.) *Handbook of Simulation* (pp. 3-30). Hoboken: Wiley.
- Baradit, J. (2015), *La Historia Secreta de Chile*. Santiago: Penguin Random House Chile.
- Bardi, U. (2011), *The Limits to Growth Revisited*. New York: Springer.
- Becker, J., Klose, K., Niehaves, B., (2005), A Framework for Epistemological Perspectives on Simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 8(4).

- Bozkurt, I., Sousa-Poza, A. (2005), A Comparison of Canons of Science used in Positivistic Research and Constructivist/Naturalistic Research. En *Proceedings of the 26th American Society of Engineering Management National Conference*, (pp. 143–146). Huntsville: ASEM publications
- Bradbury, R. (1953), *Fahrenheit 451*. New York: Ballantine Books.
- Broncano, F. (2000), *Mundos artificiales: filosofía del cambio tecnológico*. México D.F.: Paidós.
- Brooke, C. (2009), *Critical Management Perspectives on Information Systems*. Oxford: Elsevier.
- Bunge, M. (1966), Technology as Applied Science. *Technology and Culture*, 7, 329-347.
- Bunge, M. (2005), *La ciencia: su método y su filosofía*. Buenos Aires: de Bolsillo.
- Bunge, M. (2011), *Filosofía de la tecnología y otros ensayos*. Lima: Universidad Inca Garcilaso de la Vega.
- Burrell, G., Morgan, G. (1979), *Sociological Paradigms and Organisational Analysis*. London: Heinemann.
- Burrows, B., Mayne, A., Newbury, P. (1991), *Into the 21st Century: A Handbook for a Sustainable Future*. Twickenham: Adamantine Press.
- Bush, V. (1945), *Science The Endless Frontier: A Report to the President by Vannevar Bush, Director of the Office of Scientific Research and Development, July 1945*. Washington: United States Government Printing Office.
- Callender, C., Cohen, J. (2006), There is no Special Problem About Scientific Representation. *Theoria*, 55, 67-85.
- Carnap, R. (1962), *Logical Foundations of Probability*. Chicago: University of Chicago Press.
- Carson, R. (1994), *Silent Spring* (2a ed.). Boston: Houghton Mifflin. (Trabajo original publicado 1968)

- Castañón, G. (2007), Construtivismo, Inatismo e Realismo: compatíveis e complementares. *Ciências & Cognição*, 10, 115-131.
- Castro, R. (2012), Arguments on the imminence of global collapse are premature when based on simulation models. *GAIA*, 21(4), 271-273.
- Castro, R., Jacovkis, P. (2015), Computer Based Global Models: From Early Experiences to Complex Systems. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 18(1).
- Chen, W., Hirschheim, R. (2004), A Paradigmatic and Methodological Examination of Information Systems Research from 1991 to 2001. *Information Systems Journal*, 14(3), 197-235.
- Cohen, M., March, J., Olsen, J. (1972), A Garbage Can Model of Organizational Choice. *Administrative Science Quarterly*, 17(1), 1-25.
- Cole, H., Freeman, C., Jahoda, M., Pavitt, K. (1973), *Models of Doom*. New York: Universe Books.
- Comte, A. (2009), *The Positive Philosophy of Auguste Comte, Tome II* (trad. H. Martineau) Cambridge: Cambridge University Press (trabajo original publicado 1853).
- Díez, J., Lorenzano, P., (2002), *Desarrollos Actuales de la Metateoría Estructuralista: Problemas y Discusiones*. Bernal: Universidad de Quilmes.
- Díez J., Moulines, U., (1997), *Fundamentos de Filosofía de la Ciencia*. Barcelona: Ariel.
- Dilthey, W. (2007), *Introduzione alle scienze dello spirito: tentativo di fondazione per lo studio della società e della storia* (trad. G. de Toni). Milan: Bompiani (trabajo original publicado 1883).
- Domingo, C., Varsavsky, O. (1967), Un modelo matemático de la Utopía de Moro. *Desarrollo Económico*, 7, 3-36.
- Dorf, R. (1974), *Technology, Society and Man*. San Francisco: Boyd & Fraser.
- Dowe, P. (2000), *Physical Causation*. New York: Cambridge University Press.

Drucker, P. (1959), Thinking Ahead: Potentials of Management Science. *Harvard Business Review*, 37(1), 25-30.

Durkheim, E. (2005), *Suicide: a Study in Sociology*. (trad. J. Spaulding y G. Simpson). London: Taylor & Francis (trabajo original publicado 1897).

Echeverría, J. (2005), La revolución tecnocientífica. *CONfines de Relaciones Internacionales y Ciencia Política*, 1(2), 9-15.

Echeverría, J. (2010), Tecnociencia, tecnoética y tecnoaxiología. *Revista Colombiana de Bioética*, 5(1), 142-152.

Ehrlich, P. (1988), *The Population Bomb* (2a ed.). New York: Ballantine Books (Trabajo original publicado 1968).

Feenberg, A. (2009), Ciencia, Tecnología y Democracia: distinciones y conexiones (trad. F. Tula Molina) en F. Tula Molina y G. Giuliano (eds.) *Culturas Científicas y Alternativas Tecnológicas, 1º Encuentro Internacional* (pp. 279-296). Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.

Feenberg, A. (2012), *Transformar la tecnología: una nueva visita a la teoría crítica* (trad. C. Alfaraz, G. Giuliano, F. Tula Molina, A. M. Vara). Bernal: Universidad de Quilmes.

Feenberg, A. (2013), Critical Theory of Technology. En J. Friis, S. Pedersen & V. Hendricks (eds.) *A Companion to Philosophy of Technology* (pp. 146-153). Chichester: Wiley-Blackwell.

Feigenbaum, M. (1980). Universal Behavior in Non-Linear Systems. *Los Alamos Science*. 1(1). 4-27.

Forman, P. (2007), The Primacy of Science in Modernity, of Technology in Posmodernity and of Ideology in the History of Technology. *History of Technology*, 23(1-2), 1-152.

Forrester, J. (1968), Industrial Dynamics: After the First Decade. *Management Science*, 14(7), 398-415.

- Forrester, J. (1968), *Principles of Systems*. Cambridge: Wright Allen Press.
- Forrester, J. (1973), *World Dynamics* (2a ed.) Cambridge: Wright Allen Press (trabajo original publicado 1971).
- Forrester, J. (1989), *The Beginning of System Dynamics*. Stuttgart: System Dynamics Society.
- Forrester, J. (1992), From the Ranch to System Dynamics: An Autobiography. En A. Bedeian (ed.) *Management Laureates: A Collection of Autobiographical Essays (vol. 1)*. New York: JAI Press.
- Forrester, J. (1995), The Beginning of System Dynamics. *The McKinsey Quarterly*, 4, 4-16.
- Forrester, J. (1999), *Urban Dynamics*. Cambridge: Wright Allen Press (trabajo original publicado 1968).
- Forrester, J. (2013), *Industrial Dynamics*. Mansfield Center: Martino. (trabajo original publicado 1961).
- Forrester, J., Low, G., Mass, N. (1974), The Debate on World Dynamics: a Response to Nordhaus. *Policy Sciences*, 5, 169-190.
- Frank, P. (1988), The Variety of Reasons for Acceptance of Scientific Theories. En E. Klenke, R. Hollinger, A. Kline (eds.) *Introductory Readings in the Philosophy of Science* (pp. 305-314). Buffalo: Prometheus Books.
- Frigg, R., Hartmann, S. (2017), Models in Science. En E. Zalta (ed.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2017 Edition). Último acceso Septiembre 2017. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/models-science/>
- Frigg, R., Reiss, J. (2009), The Philosophy of Simulation: hot new issues or same old stew? *Synthese*, 3(169), 593-613.
- Frigg, R., Thompson, E., Werndl, C. (2015), Philosophy of Climate Science Part I: Observing Climate Change. *Philosophical Compass*, 10, 953-964.

Gallopín, G. (2004), El Modelo Mundial Latinoamericano ("Modelo Bariloche"): Tres décadas atrás, en A. Herrera, H. Scolnick, G. Chichilnisky, G. Gallopín, J. Hardoy, D. Mosovich, E. Oteiza, G. de Romero Brest, C. Suárez y L. Talavera (eds.) *¿Catástrofe o Nueva Sociedad? El Modelo Mundial Latinoamericano* (2a ed., pp. 13-26). Buenos Aires: IIED América Latina (trabajo original publicado 1974).

Galtung, J. (1973), Limits to Growth and Class Politics. *Journal of Peace Research*, 1(2), 101-114.

Gentner, D., Gentner, D. R., (1983), Flowing Waters or Teeming Crowds: Mental Models of Electricity. En D. Gentner, A. Stevens (eds.) *Mental Models* (pp. 99-129). London: Laurence Erlbaum Associates Publishers.

Giere, R. (1988), *Explaining Science: A Cognitive Approach*. Chicago: University of Chicago Press.

Giere, R. (1999), *Science Without Laws*. Chicago: University of Chicago Press.

Giere, R. (2009), Is Computer Simulation Changing the Face of Experimentation? *Philosophical Studies*, 143, 59–62.

Giuliano, G. (2006), *Interrogar la tecnología*. Buenos Aires: Nueva Librería.

Giuliano, G. (2009), Comentarios sobre el texto de Andrew Feenberg. En F. Tula Molina y G. Giuliano (eds.) *Culturas Científicas y Alternativas Tecnológicas, 1° Encuentro Internacional* (pp. 297-303). Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.

Gómez, R. (2014), *La dimensión valorativa de las ciencias: hacia una filosofía política*. Bernal: Universidad de Quilmes.

Goodman, N. (1976), *Languages of Art*. Indianapolis: Hackett.

Groff, J. (2013), Dynamic Systems Modeling in Educational System Design & Policy. *New approaches in educational research*, 2(2). 72–81.

Habermas, J. (1984), *The Theory of Communicative Action: Volume One-Reason and the Rationalization of Society*. Boston: Beacon Press.

Hanson, N. (1958), *Patterns of Discovery*. Cambridge: Cambridge University Press.

Hardin, G. (1968), The Tragedy of the Commons. *Science*, 162, 1243-1248.

Heckel, P. (1978), A Technique for Isolating Differences Between Files. *Communications of the ACM*, 21(4), 264-268.

Heidegger, M. (1977), *The Question Concerning Technology*. New York: Harper Torchbacks (trabajo original publicado 1954).

Hempel, C. (1965), *Aspects of Scientific Explanation and other Essays in the Philosophy of Science*. New York: Free Press.

Hempel, C. (1988), Provisoos: a Problem Concerning the Inferential Function of Scientific Theories. *Erkenntniss*, 28, 147-164.

Herrera, A. (2015), *Ciencia y Política en América Latina*. Buenos Aires: Biblioteca Nacional (trabajo original publicado 1971).

Herrera, A. Scolnik, H., Chichilnisky, G., Gallopin, G., Hardoy, J., Mosovich, D., Oteiza, E., de Romero Brest, G., Suárez, C., y Talavera, L. (2004), *¿Catástrofe o Nueva Sociedad? El Modelo Mundial Latinoamericano* (2a ed.). Buenos Aires: IIED América Latina (trabajo original publicado 1977).

Hirschheim, R., Klein, H. (1989), Four Paradigms of Information Systems Development. *Communications of the Association for Computing Machinery*, 32(10), 1199-1216.

Hirschheim, R., Klein, H. (2003), Crisis in the Information Systems Field? A Critical Reflection on the State of the Discipline. *Journal of the Association for Information Systems*, 4, 237-293.

Hirschheim, R., Klein, H., Lyytinen, K. (1995), *Information Systems Development and Data Modeling: Conceptual and Philosophical Foundations*. New York: Cambridge University Press.

Hofmann, M. (2013), Ontologies in Modelling & Simulation: an Epistemological Perspective. En A. Tolk (ed.), *Ontology, Epistemology and Teleology of Modelling and Simulation: Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications* (pp. 59-88). Berlin: Springer-Verlag.

Hofstadter, D. (1985), *Metamagical Themas*. New York: Basic Books.

Holland, E., Gillespie, R. (1963), *Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy: Development Plans and Balance of Payments Policies*. Massachusetts: The MIT Press.

Humphreys, P. (2013), Foreword. En A. Tolk (ed.), *Ontology, Epistemology and Teleology of Modelling and Simulation: Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications* (pp. VII-VIII). Berlin: Springer-Verlag.

Huxley, A. (1932), *Brave New World*. London: Chatto & Windus.

Ihrig, M. & Troizsch, K. (2013), Simulation Modelling Rooted in the Philosophy of Science: a Non-Statement View Approach. En R. Pasupathy, S. Kim, A. Tolk, R. Hill, M. Kuhl (eds.), *Epistemology of Modelling and Simulation*. (pp. 5-6). Recuperado de <http://www.researchgate.net/publication/259266689>.

Jevons, W. (2009), *The Coal Question* (2a ed.). London: MacMillan (trabajo original publicado 1865).

Kitcher, P. (1989), Explanatory Unification and the Causal Structure of the World. En P. Kitcher, W. Salmon (eds.) *XIII Minnesota Studies in the Philosophy of Science* (pp. 410-505). Minneapolis: University of Minnesota Press.

Klein, L., Goldberger, A. (1955), *An Econometric Model of the United States, 1929-1952*. Amsterdam: North Holland.

Knight, F. (1921), *Risk, Uncertainty and Profit*. New York: Houghton, Mifflin Company.

Knuuttila, T. (2005), *Models as Epistemic Artifacts: Toward a Non-Representationalist Account of Scientific Representation*. Helsinki: University of Helsinki.

Kochan, T., Schmalensee, R. (2003), *Management: Inventing and Delivering its Future*. Cambridge: The MIT Press.

Koen, B. (2003), *Discussion of the Method: Conducting the Enginner's Approach to Problem Solving*. New York: Oxford University Press.

Kripke, S. (1959), A Completeness Theorem in Modal Logic *The Journal of Symbolic Journal*, 24, 1-14.

Kuhn, T. (1982), Algo más sobre los paradigmas. En T. Kuhn (comp.), R. Helier (trad.) *La tensión esencial: estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia* (pp. 317-343). Madrid: Fondo de Cultura Económica (trabajo original publicado 1977).

Kuhn, T. (2002a), Consideraciones en torno a mis críticos. En J. Conant, J. Haugeland (comps.), A. Beltrán y J. Romo (trads.) *El camino desde la estructura* (pp. 151-210). Buenos Aires: Paidós (trabajo original publicado 2000)

Kuhn, T. (2002b), Conmensurabilidad, comparabilidad y comunicabilidad. En J. Conant, J. Haugeland (comps.), A. Beltrán y J. Romo (trads.) *El camino desde la estructura* (pp. 47-76). Buenos Aires: Paidós (Trabajo original publicado 2000).

Kuhn, T. (2004), *La Estructura de las Revoluciones Científicas* (8a ed., trad. A. Contin). Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica (trabajo original publicado 1962).

Lakatos, I. (1987), *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales* (2a. ed., trad. D. Ribes Nicolás). Madrid: Tecnos (trabajo original publicado 1971).

Lane, D., Sterman, J. (2011), Jay Wright Forrester. En A. Assad, S. Gass (eds.) *Operations Research: Pioneers and Innovators* (pp. 363-386). New York: Springer.

Latour, B. (1992), *Ciencia en acción: cómo seguir a científicos e ingenieros a través de la sociedad*. Barcelona: Labor (trabajo original publicado 1987).

Leontief, W., Carter, A., Petri, P. (1977), *The Future of the World Economy: a United Nations Study*. New York: Oxford University Press.

Lewis, D. (1973), *Counterfactuals*, Oxford: Blackwell.

Lewis, D. (1986), *On the Plurality of Worlds*. Oxford: Blackwell.

Lewis, D. (2004), Causation as Influence. En J. Collins, E. Hall, L. A. Paul, (eds). *Causation and Counterfactuals* (pp. 75-106). Oxford: Blackwell.

Lomi, A., Cacciaguerra, S. (2003), Organizational decision chemistry on a lattice. En *The 2003 Swarmfest Conference*, recuperado de <http://www.nd.edu/swarm03/Program/Abstracts/LomiSwarm2003.pdf>

Longino, H. (1990), *Science as social knowledge, values and objectivity in scientific inquiry*. New Jersey: Princeton University Press.

Lovelock, J. (1985), *Gaia: una Nueva Visión de la Vida sobre la Tierra* (2a ed.). Barcelona: Orbis (trabajo original publicado 1979).

Lunt, B., Reichgelt, H. (2014), Discipline of Information Technology: History and Development. En Topi, H. (ed.) *Computing Handbook: Third Edition: Information Systems and Information Technology* (pp. 60-71).. Boca Raton: CRC Press.

Maddala, G. (1992), *Introduction to Econometrics* (2a ed.) New York: Macmillan (trabajo original publicado 1988).

Malthus, T. (1998), *Essay on the Principle of Population*. London: St. Paul (trabajo original publicado 1798).

Meadows, D, Meadows, D. H., Randers, J. (1992), *Beyond the Limits*. Post Mills: Chelsea Green.

Meadows, D, Meadows, D. H., Randers, J. (2002), *Limits to Growth: 30 Years After*. Post Mills: Chelsea Green.

- Meadows, D., Meadows, D. H., Randers, J. (2012), *Los límites del crecimiento 2012*. Buenos Aires: Alfaguara.
- Meadows, D., Meadows, D. H., Randers, J., Behrens, W. (1972), *Limits to Growth*. New York: Universe Books.
- Meadows, D., Meadows, D. H., Randers, J., Behrens, W., Naill, R., Zahn, E. (1974), *Dynamics of Growth in a Finite World*. Cambridge: MIT Press.
- Meadows, D., Richardson, J., Bruckmann, G. (1982), *Groping in the Dark*. Chichester: Wiley.
- Medina, E. (2006), Designing Freedom, Regulating a Nation: Socialist Cybernetics in Allende's Chile. *Journal of Latin American Studies*, 38, 571-606.
- Medina, E. (2011) *Cybernetic Revolutionaries: Technologies and Politics in Allende's Chile*. Cambridge: The MIT Press.
- Mellor, D. H. (1995). *The Facts of Causation*. London/New York, Routledge.
- Menshikov, S. (1977), *Using the Global Input-Output Model for Long-Term Projections*. S/l: IIASA.
- Menshikov, S. (1980), Using the Global Input-Output Model for Long-Term Projections. En G. Bruckmann (ed.) *Input-Output Approaches in Global Modeling*. New York: Pergamon.
- Mesarovic, M. (1970), *Theory of Multilevel, Hierarchical Systems*. New York: Academic Press.
- Mesarovic, M., Pestel, E. (1974), *Mankind at the Turning Point*. New York: Dutton.
- Mitchell, M. (2009), *Complexity: A Guided Tour*. New York: Oxford University Press.
- Mohring, M. (1996), Social Science Multilevel Simulation with MIMOSE. En K. Troitzsch, U. Mueller, G. Gilbert, J. Doran (eds.), *Social Science Microsimulation* (pp. 123-137). Berlin: Springer-Verlag.

- Morgan, M. (2005), Experiments vs. Models: New Phenomena, Inference and Surprise. *Journal of Economic Methodology*, 12(2), 317–29.
- Morgan, M. (2012), *The World in the Model: How the Economists Work and Think*. New York: Cambridge University Press.
- Morrison, M. (2015), *Reconstructing Reality: Models, Mathematics & Simulations*. New York: Oxford University Press.
- Moulines, U. (1983), On How the Distinction between History and Philosophy of Science Should Not Be Drawn. *Erkenntnis*, 19(1), 285-296.
- Nagel, E. (1968), *La Estructura de la Ciencia* (Trad. N. Míguez). Buenos Aires: Paidós.
- Neurath, O. (1983), *Philosophical Papers: 1913-1946*. (Ed. y Trad. R. Cohen, M. Neurath). Dordrecht: Reidel.
- Nola, R., Irzik, G. (2005), *Philosophy, Science, Education and Culture*. Dordrecht: Springer.
- Nordhaus, W. (1973), World Dynamics: Measurement Without Data. *The Economic Journal*, 83(332), 1156-1183.
- Oberkampff, W., Roy, C. (2010) *Verification And Validation In Scientific Computing*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Orcutt, G. (1952), Toward a Partial Redirection of Econometrics. *Review of Economics and Statistics*, 34, 195-213.
- Orcutt, G. (1957), A New Type of Socio-Economic System. *Review of Economics and Statistics*, 39(2), 116-123.
- Orcutt, G. (1960), Simulation of Economic Systems. *American Economic Review*, 50(5), 893-907.
- Orcutt, G., Greenberger, M., Korbel, J., Rivlin, A. (1961), *Microanalysis of Socioeconomic Systems: A Simulation Study*. New York: Harper.

Orlikowski, W., Baroudi, J. (1991). Studying Information Technology in Organizations: Research Approaches and Assumptions. *Information Systems Research*, 2(1), pp. 1-28.

Orwell, G (1945), *Animal Farm*. London: Harvill Secker.

Orwell, G (1949), *1984*. London: Harvill Secker.

Parker, W. (2008) Does Matter Really Matter? Computer Simulations, Experiments and Materiality. *Synthese*, 169, 483–496.

Partridge, C., Mitchell, A., de Cesare, S. (2013). Guidelines for Developing Ontological Architectures in Modelling and Simulation. En A. Tolk (ed.) *Ontology, Epistemology, and Teleology for Modelling and Simulation: Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications* (pp. 27-57). Berlin, Springer-Verlag.

Passel, P., Roberts, M., Ross, L. (1972), *New York Times*. 02/04/1972.

Petri, P. (1977), An Introduction to the Structure and Application of the United Nations World Model. *Applied Mathematical Modeling*. 1(5), 261-267.

Phillips, D. (1995), The Good, the Bad and the Ugly: the Many Faces of Constructivism. *Educational Researcher*, 24(7), 5-12.

Pointing, D. (2007), *A New Green History of the World*. London: Vintage Books.

Polimeni, J., Mayumi, K., Giampietro, M., Alcott, B. (2007), *The Jevons Paradox and the Myth of Resource Efficiency Improvements*. London: Earthscan.

Putnam, H. (1994), *Las Mil Caras del Realismo* (Trad. M. Vázquez Campos, A. Liz Gutiérrez). Barcelona: Paidós (trabajo original 1987).

Pyka, A., Deichsel, S. (2013). Cutting Back Models and Simulations. En A. Tolk (ed.) *Ontology, Epistemology, and Teleology for Modelling and Simulation: Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications* (pp. 141-156). Berlin, Springer-Verlag.

Quine, W. (2013), *Word and Object* (2a ed.) Cambridge: MIT Press (trabajo original publicado 1960).

Randers, J. (2012), The Real Message of The Limits to Growth: a Plea for Forwardlooking Global Policy. *GAIA*, 21(2), 102-105.

Rescher, N. (1970), *Scientific Explanation*. New York. Free Press.

Revelle, R., Suess, H. (1957), Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO₂ During the Past Decades. *Tellus*, 9, 18-27.

Rodríguez Filho, J., Ludmer, G. (2005), Sistema de Informação: que ciencia é essa? *Revista de Gestão da Tecnologia e Sistemas de Informação*, 2(2), 151-166.

Saavedra, N., Pericchi, L., Sagalovsky, B. (1975), *Análisis crítico del modelo mundial de M. Mesarovic y E. Pestel*. Caracas: Universidad Simón Bolívar.

Samuelson, P. (1939), Interactions between the Multiplier Analysis and the Principles of Acceleration. *Review of Economics and Statistics*, 21, 75-78.

SARU Staff (1977), *SARUM 76 – Global Modelling Project, Research Report No. 19*. London: UK Departments of Environment and Transport.

Schelling, T. (1971), Dynamic Models of Segregation. *Journal of Mathematical Sociology*. 1, 143-186.

Schlesinger, S. (1979). Terminology for Model Credibility. *Simulation*. 32(3), 103–104.

Schütz, A. (1962), *Concept and Theory Formation in the Social Sciences*. En A. Schütz (ed.) *Collected Papers I: The Problem of Social Reality. Phaenomenologia (Vol. 11)*, (pp. 48-67). The Hague: Martinus Nijhoff.

Scolnik, H. (1973), Crítica metodológica al modelo World3. *Ciencia Nueva*, 25, 43-47.

Scolnik, H. (1979), A Critical Review on some Global Models. En B. Lasarevic (ed.) *Global and Large Scale Systems* (pp. 58-80). s/l.

Scolnik, H. (2004), Una perspectiva histórica personal del Modelo Bariloche. En A. Herrera, H. Scolnik, G. Chichilnisky, G. Gallopin, J. Hardoy, D. Mosovich, E. Oteiza, G. de Romero Brest, C. Suárez y L. Talavera (eds.) *¿Catástrofe o Nueva Sociedad? El Modelo Mundial Latinoamericano* (2a ed., pp. 13-26). Buenos Aires: IIED América Latina (trabajo original publicado 1977).

Shubik, M. (1971), Modeling on a Grand Scale. *Science*, 174, 1014.

Shubik, M. (1994), Some Musings on Gaming and Simulation. *Simulation and Gaming*, 25(2), 251-258.

Slutsky, E. (1937), The Summation of Random Causes as the Source of Cyclic Processes. *Econometrica*, 5, 105-146.

Sóbol, I. (1983), *Método de Montecarlo*. (2a. ed., trad. C. Vega). Moscú: MIR (trabajo original publicado 1976).

Steenbergen, B. (1994), Global Modelling in the 1990s. *Futures*, 26(1), 44-56.

Sterman, J. (2002), All Models are Wrong: Reflections on Becoming a Systems Scientist. *System Dynamics Review*, 174(4), 501-531.

Suárez, M. (1999), Theories, Models and Representation. En L. Magnani, N. Nersessian, P. Thagard, (eds). *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 75-83). New York: Kluwer Academic Press.

Suárez, M. (2003), Scientific Representation: Against Similarity and Isomorphism. *International Studies in the Philosophy of Science*, 17, 225-244.

Sugden, R. (2002), Credible Worlds: The Status of Theoretical Models in Economics. En U. Mäki (ed.) *Fact and Fiction in Economics* (pp. 107-136).Cambridge: Cambridge University Press.

Suppes, P. (1962), Models of Data, en E. Nagel, P. Suppes y A. Tarski (eds.) *Logic, Methodology and Philosophy of Science: Proceedings of the 1960 International Congress* (pp. 252–261). Stanford: Stanford University Press.

Suppes, P. (1969), Models of Data. En P. Suppes, (ed). *Studies in the Methodology and Foundations of Science: Selected Papers from 1951 to 1969* (pp. 24-35). Dordrecht: Reidel.

Tashakkori, A., Teddlie, C. (1998), *Mixed Methodology: Combining Qualitative and Quantitative Approaches*. London: Sage.

Tinbergen, J. (1937), *An Econometric Approach to Business Cycle Problems*. Paris: Hermann.

Tinbergen, J. (1939), *Statistical Testing of Business Cycle Theories*. Geneva: League of Nations.

Tolk, A. (2013), Truth, Trust & Turing. En A. Tolk (ed.), *Ontology, Epistemology and Teleology of Modelling and Simulation: Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications* (pp. 1-26) Berlin: Springer-Verlag.

Tolk, A., Diallo, S., Padilla, J., Turnitsa, C.(2011), How is M&S Interoperability Different from other Interoperability Domains?. En *Proceedings of the Spring Simulation Interoperability Workshop* (pp. 12-20). Orlando: SISO.

Topi, H. (2014), Evolving Discipline of Information Systems. En Topi, H. (ed.) *Computing Handbook: Third Edition: Information Systems and Information Technology* (pp. 34-59). Boca Raton: CRC Press.

Troizsch, K. (1996), Simulation and Structuralism. En R. Hegselmann, U. Mueller, K. Troizsch (eds.), *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View. Theory and Decision Library, Series A: Philosophy and Metodology of the Social Sciences* (Vol. 23, pp. 183-207). Dordrecht: Springer Science + Business Media.

Troizsch, K. (2013), Theory Reconstruction of Several Versions of Modern Organization Theories. En A. Tolk (ed.) *Ontology, Epistemology and Teleology of Modelling and Simulation: Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications. Intelligent Systems Reference Library*. (Vol. 44, pp. 121-140). Berlin: Springer-Verlag.

Tula Molina, F., Giuliano, G. (2008), Política científico-tecnológica y contexto de implicación, en G. Giuliano y L. Massa (eds.) *Ciencia, Tecnología y Democracia* (pp. 73-78). Buenos Aires: CTA ediciones.

Turner, G. (2012), On the Cusp of Global Collapse? Updated Comparison of The Limits to Growth with Historical Data. *GAIA*, 21(2), 116-124.

van Fraassen, B. (1980), *The Scientific Image*. Oxford: Oxford University Press.

Varsavsky, O. (1971), *Proyectos Nacionales*. Buenos Aires: Periferia.

Velasco Gómez, A. (2000), *Tradiciones Naturalistas y Hermenéuticas en la Filosofía de las Ciencias Sociales*. México D. F.: UNAM.

Von Neumann, J., Morgenstern, O. (1990), *Theory of Games and Economic Behavior* (3a ed.). Princeton: Princeton University Press (trabajo original publicado 1944).

Ward, J., Peppard, J. (2002), *Strategic Planning for Information Systems*. Chichester: Wiley.

Weirich, P. (2011), The Explanatory Power of Models and Simulations: A Philosophical Exploration. *Philosophical and Epistemological Issues in Simulation and Gaming, a special issue of Simulation and Gaming*. 42, 149-170.

Weirich, P. (2013). Models as Partial Explanations. En A. Tolk (ed.) *Ontology, Epistemology, and Teleology for Modelling and Simulation: Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications* (pp. 105-119). Berlin, Springer-Verlag.

Weisberg, M. (2013), *Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World*. New York: Oxford University Press.

Winsberg, E. (2010), *Science in the Age of Computer Simulation*. Chicago: University of Chicago Press.

Worrall, J. (2014), Prediction and Accommodation Revisited. *Studies in History and Philosophy of*

Science Part A, 45, 54–61.

Yin, X., Struick, P. (2010) Modelling the Crop: from System Dynamics to Systems Biology. *Journal of Experimental Botany*, 61(8), 2171–2183